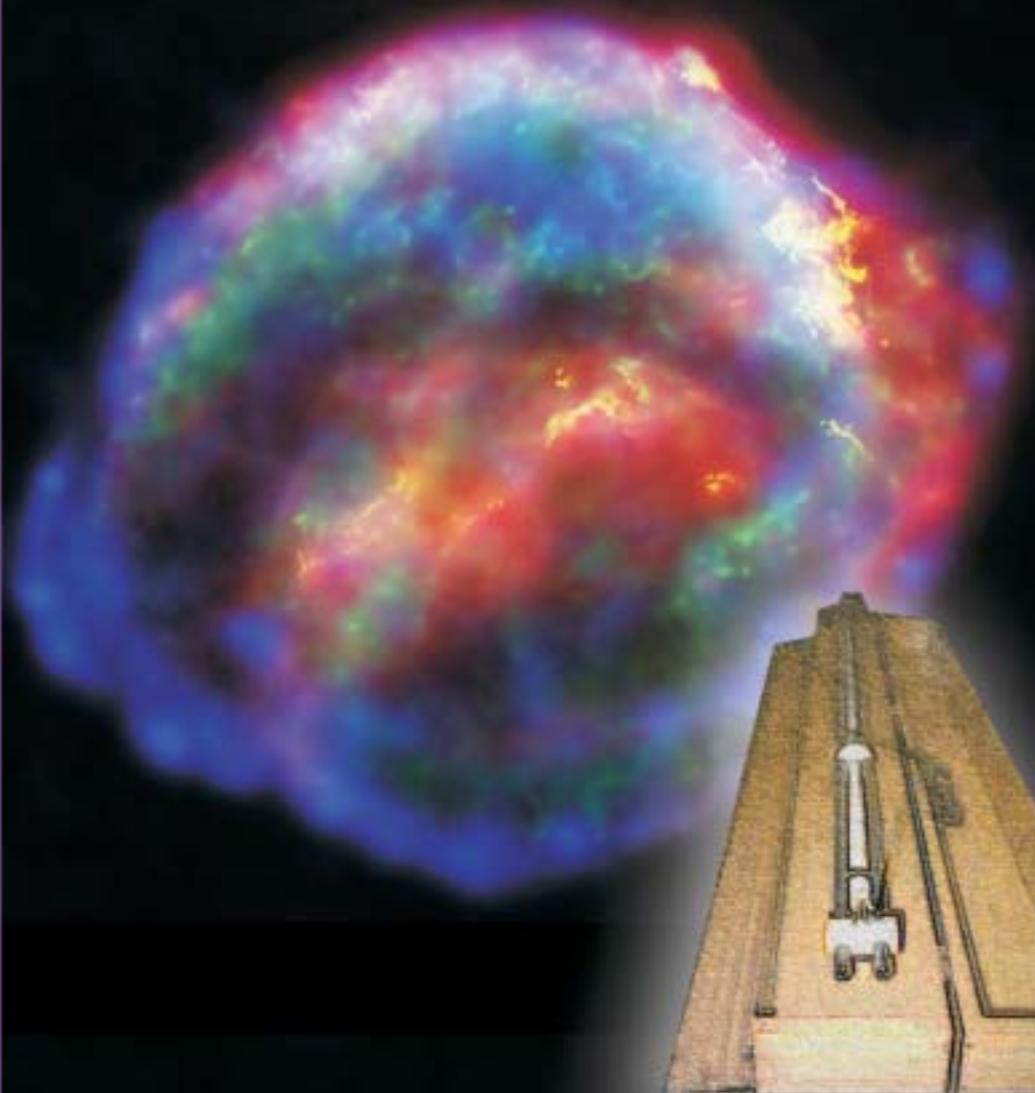




Dispositivo para evaluar parámetros de líneas



Serie: Recursos didácticos

Tapa:
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

SECRETARIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Prof. Alberto E. Sileoni

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

Susana Drudi

Hugo Federico Passini

Colección Serie "Recursos didácticos".
Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0505-0

Drudi, Susana

Dispositivo para evaluar parámetros de líneas / Susana Drudi y Hugo Passini;
coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la
Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2005.

140 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 10)

ISBN 950-00-0505-0

1. Electromagnetismo. 2. Comunicaciones. 3. Línea de Lecher. I. Passini,
Hugo. II. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. III. Título

CDD 621.3

Fecha de catalogación: 12/05/2005

Instituto Nacional de Educación Tecnológica
Centro Nacional de Educación Tecnológica
CeNET-Materiales

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibre óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA -Características físicas de los materiales de construcción-
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.
Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
 - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T- y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
 - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
 - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317-.
 - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el periodo 2003-2007:

Programa 1. Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

Programa 2. Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

Programa 4. Educación para el trabajo y la integración social.

Programa 5. Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

Programa 7. Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

Programa 8. Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

María Rosa Almandoz

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativas ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica -CeRET- y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web www.inet.edu.ar–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearón la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica.
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

1 Problemas tecnológicos en el aula. En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

2 Encuadre teórico para los problemas. En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

4 El equipo en el aula. En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

5 La puesta en práctica. Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

entes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

Haydeé Noceti

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".
Centro Nacional de Educación Tecnológica



10. Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Susana Drudi.

Es ingeniera electricista electrónica (Universidad Nacional de Córdoba) y especialista en docencia universitaria (Universidad Tecnológica Nacional). Integra las cátedras “Taller y laboratorio”, y anteriormente, “Introducción a la ingeniería” y “Tecnología electrónica” (Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba) y es miembro de la Comisión de Educación Tecnológica de la misma facultad. Es coordinadora y docente del área de Formación Tecnológica (Escuela Superior de Comercio “Manuel Belgrano”) y tuvo a su cargo “Mediciones eléctricas” (Escuela Nacional de Educación Técnica N° 4). Fue capacitadora de la Red Federal de Formación Docente Continua del Ministerio de Educación. Participó en la elaboración de los Contenidos Curriculares de Educación Tecnológica de Córdoba.

Hugo Federico Passini.

Es ingeniero electricista electrónico, jefe del área Radiofrecuencia del Departamento “Vehículos Espaciales” del Centro de Investigaciones Aplicadas (IUA). Fue declarado Ciudadano Ilustre de la provincia de Córdoba en 1996, por el trabajo de investigación y participación en el proyecto *Mu-Sat*, en el que se diseñó, construyó y puso en órbita el primer satélite construido totalmente en el país. Es jefe de la cátedra “Propagación y antenas”. Se desempeña como profesor adjunto de “Sistemas de radioayuda a la aeronavegación” y profesor de “Física” en el Instituto Universitario Aeronáutico. Pertenece al régimen para el personal de Investigación y Desarrollo de las Fuerzas Armadas como proyectista asociado.

Coordinación general:

Haydeé Noceti

Diseño didáctico:

Ana Rúa

Administración:

Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:

Laura Irurzun

Diseño gráfico:

Tomás Ahumada

Karina Lacava

Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:

Laura Lopresti

Juan Manuel Kirschenbaum

Con la colaboración
del equipo de profesionales
del Centro Nacional
de Educación Tecnológica



Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica	VIII
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica	X
La serie "Recursos didácticos"	XII

1 Problemas tecnológicos en el aula	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas	8
• Líneas de transmisión	
• Cálculo con la Carta de Smith, aplicados a una línea de transmisión	
• Conducción en los gases	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo	65
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales, herramientas e instrumentos	
• La construcción	
• El armado	
• El ensayo y el control	
• La superación de dificultades	
• Información anexa	
• Mediciones utilizando el equipo	
4 El equipo en el aula	90
5 La puesta en práctica	100

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

El tipo de contenido determina, básicamente, la metodología didáctica. A partir de este principio, el carácter científico y tecnológico de los contenidos de la educación técnico-profesional exige de los estudiantes un esfuerzo particular para apropiarse de la información y para construir representaciones tecnológicas a partir de ella.

El aprendizaje a través de la configuración y de la resolución de problemas tecnológicos es la propuesta de este módulo de capacitación docente. Esta forma de trabajo implica el enfoque de los problemas desde diferentes puntos de vista, involucra soluciones integrales que consideran el contexto en el que han de implementarse, requiere recurrir a conocimientos de diversas áreas, imbrica razonamiento y acción, promoviendo procesos de comprensión y la puesta en práctica de los conocimientos en una resolución técnica.

Los estudiantes se involucran en un problema situado en un entorno, al cual comienzan a comprender, y a modificar o a adaptarse a él, desarrollando sus capacidades de ubicarse en una realidad objetiva, comunicarse y llevar adelante proyectos interactuando con otros estudiantes. En este trabajo de resolución de problemas, los estudiantes protagonizan cambios de importancia en sus modos de aprender: desde un momento inicial de preguntar al docente qué deben hacer, hacia poner a consi-

deración caminos de acción que pueden explicar y justificar. Se trata de un aprendizaje integral, autoplanificado y autoorganizado, activo y orientado hacia una resolución.

En esta metodología son tan importantes los procesos como los resultados obtenidos. Incluso, la búsqueda de una solución adecuada dentro del proceso de aprendizaje, es tan importante como la misma solución.

También el rol del docente implica un desplazamiento desde quien dicta clase hacia quien genera situaciones problematizadoras, explica, coordina, asesora y orienta. Los contenidos, por su parte, se experimentan, se vivencian y se recrean en función de la práctica.

El autocontrol en el proceso de aprendizaje de un alumno que se desempeña como sujeto activo, también genera nuevos aprendizajes. El alumno -a través de la resolución de problemas concretos y de la reflexión sobre los procesos experimentados- conoce y se conoce. Porque, a medida que crece la complejidad de los problemas planteados, crecen también las exigencias que el proceso de solución demanda al sujeto, aumentando simultáneamente sus competencias prácticas, conceptuales y sociales. En este proceso, el estudiante se emancipa, aumenta la seguridad en sí mismo y su capacidad de actuar responsablemente.

Desde **Dispositivo para evaluar parámetros de líneas** vamos a proponerle trabajar en este marco:

Presentar problemas tecnológicos y acompañar a los estudiantes en su resolución.

Lo invitamos a considerar estos ejemplos iniciales que iremos retomando a lo largo de este módulo de capacitación:

El instructor del Centro de Formación Profesional en *Electrónica*, plantea a los miembros de su grupo:

Después de una fuerte tormenta, un radioaficionado ya no puede comunicarse con su equipo de Banda Lateral Única -BLU -.

Revisa el equipo, pero no encuentra ningún inconveniente. También la antena se ve en perfectas condiciones, por lo que no puede explicarse qué ha sucedido.

Pide prestada una línea ranurada y observa una fuerte desadaptación, ya que mide un valor de la relación de onda estacionaria que no es el esperado.

¿Qué haría usted en su lugar?

Una **línea** es un medio físico que permite confinar los campos electromagnéticos a una región del espacio, para llevar energía de un punto a otro. Hay diversos tipos de líneas; por ejemplo, un par de conductores paralelos, dos conductores concéntricos (línea coaxil) o una guía de ondas.

Los alumnos expresan hipótesis:

- ¿Se habrá degradado la soldadura del capacitor de acoplamiento?
- Yo revisaría los conectores. Es raro que se hayan llenado de agua; pero...
- En algún lugar, ¿se habrá cortado el cable?

En la clase de "Comunicaciones II" del último año del Ciclo de Especialización Polimodal, la profesora plantea:

En mi casa no se recibe la FM 100, a pesar de que la publicidad de la radio señala que se escucha a muchos más kilómetros que la distancia que hay entre la emisora y el lugar donde yo vivo.

¿Cuáles pueden ser las causas para que suceda esto?

Un estudiante comienza a preguntar:

- Usted, ¿dónde vive? ¿En una casa o en un edificio?
- En un edificio; en el piso más alto.

Y, el diálogo continúa con la intervención de otros integrantes del grupo:

- ¿Habrá un edificio grande que atenúe la señal?
- No.
- ¿Estarán irradiando menos potencia? Esteban dice que la otra noche, mientras escuchaba la radio, comentaron que iban a hacer ajustes en el transmisor y, al día siguiente, anunciaron que la radio estaba transmitiendo a su máxima potencia.

- ¿El diagrama de irradiación será irregular? Usted, ¿estará justo en un pozo?
- No... mi casa está en una zona plana.
- Esto, ¿fue después de la tormenta de la semana pasada?, sugiere Paola.
- Sí, es cierto; percibí el problema después de esa tormenta.
- ¿Será problema de conectores?

La profesora, entonces, precisa:

- El conector que está a la salida del transmisor es accesible para comprobar su estado; pero, hay otro similar que se encuentra a unos 70 metros de altura, en la torre de antena.

e indica a la clase que, con estos datos, proponga algunas posibles soluciones, considerando el costo y el riesgo que involucran.

Luego de la puesta en común de las diferentes alternativas, el grupo acuerda medir la ROE -relación de onda estacionaria-, pues va a permitir acotar el problema antes de proponer la subida de un torrista, la que resulta una solución de riesgo y, además, costosa.

El profesor de "Ensayos y mediciones eléctrico-electrónicas", del Trayecto Técnico-Profesional *Electrónica*, presenta esta situación:

Un radioaficionado quiere cambiar la antena del equipo porque supone que el paso del tiempo la ha deteriorado. Un colega le sugiere que construya una de tipo $5/8$ de λ -longitud de onda de la portadora-, por lo que averigua y define los detalles constructivos y los materiales

a utilizar; y, finalmente, la construye.

El aspecto de la antena es muy bueno; pero, ¿cumplirá con las especificaciones requeridas por el transceptor?

Los alumnos sugieren evaluar la antena con la línea de Lecher y el profesor acompaña la tarea con algunos interrogantes:

- ¿Cuál es el riesgo de una antena mal diseñada o inadecuada para un equipo?
- ¿Qué características es necesario conocer o estimar?
- ¿Cómo se podrían evaluar dichas características?

La **Línea de Lecher** es un dispositivo para evaluar parámetros de líneas. Sirve para estudiar la propagación de ondas electromagnéticas en líneas de conductores paralelos, así como la adaptación de un sistema de transmisión entre el transmisor, la línea y la carga.

Un grupo de alumnos de "Laboratorio de electrónica II", del quinto año del ciclo de especialización de Polimodal se encuentra trabajando con la línea de Lecher.

Su profesora plantea:

Supongan que están tan concentrados que no perciben que ha terminado la hora de clases y que el resto de sus compañeros ya se ha retirado de la escuela.

Los encargados cierran las instalaciones del edificio por lo que -imaginen- se encuentran aislados.

Javier sabe que un vecino suyo se comunica con un transceptor portátil (handy) con una red de

aficionados y que en el laboratorio de la escuela hay un handy con el visor inutilizado pero con el resto del dispositivo en funcionamiento.

- ¿Cuál es el problema?
- ¿Qué estrategias de resolución encuentran?

Nuestra propuesta de recurso didáctico

Para ayudar a la integración de conocimientos en estas situaciones y en otras que ya iremos presentando, le proponemos incluir en sus clases un **dispositivo para evaluar parámetros de líneas**.

Este dispositivo permite conocer las características de las ondas senoidales; tanto de las ondas que se transmiten, de las que se reflejan como las características de la onda estacionaria.

Estas características están relacionadas con:

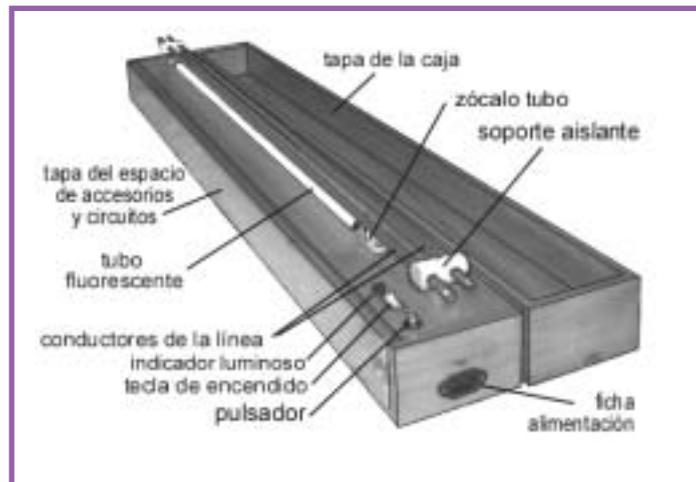
- la frecuencia de la onda generada,
- la carga colocada a la línea (tipo y valor) y
- las características propias de la línea misma (diámetro de los conductores, material, separación, dieléctrico).

El equipo consta de un generador de ondas (oscilador, handy, etc.) que alimenta una línea de transmisión de 200 Ohm de impedancia característica. Esta línea, conformada por dos conductores paralelos, se puede cargar con diferentes impedancias.

Un sensor que se puede desplazar a lo largo de la línea, actúa como indicador de los nodos y antinodos que se generan cuando se establece una onda estacionaria en la línea.

Se agrega un visualizador consistente en un tubo que contiene un gas inerte que, al ionizarse, permite visualizar los nodos y las distancias entre nodos.

El equipo permite ubicar, por ejemplo, los antinodos, y medir la distancia entre ellos, para establecer la relación entre estas semilongitudes de onda y la frecuencia del generador.



Lo invitamos a analizar los fundamentos teóricos y los desarrollos tecnológicos de este dispositivo en la segunda parte de nuestro material de capacitación.

2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

MAPA DE CONTENIDOS

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

- Previsión de la radiación
- Efecto de blindaje
- ▶ Corrientes que fluyen en líneas largas
- Longitud de onda (λ)
- Velocidad de propagación
- ▶ Impedancia característica
- ▶ Líneas cargadas
- Líneas adaptadas
- Líneas desadaptadas ($R \neq Z_0$)
- ▶ Coeficiente de reflexión
- ▶ Ondas estacionarias
- ▶ Relación de onda estacionaria
- ▶ Impedancia de entrada
- Factores determinantes de la impedancia de entrada
- ▶ Terminaciones reactivas

CÁLCULOS CON LA CARTA DE SMITH APLICADOS A UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

- ▶ Representación de impedancias
- Circuitos abiertos y cortocircuitados
- ▶ Círculos de relación de onda estacionaria (ROE o SWR)

- ▶ Solución de problemas con la carta de Smith
 - Coordenadas de admitancia
 - Determinación de la impedancia de una antena real
- ▶ Determinación de la longitud de la línea
- ▶ Atenuación
- ▶ Líneas con pérdidas
 - Efecto de la relación de onda estacionaria (ROE o SWR)
- ▶ Uso de la Carta de Smith en líneas con pérdidas
- ▶ Tensiones y corrientes en las líneas
- ▶ Casos especiales
 - Líneas de media longitud de onda
 - Transformación de impedancia con líneas de cuarto de longitud de onda
 - Líneas como elementos de circuitos
- ▶ Construcción de líneas y características de operación
- ▶ Líneas aisladas por aire
 - Líneas coaxiales
- ▶ Líneas flexibles
 - Línea de conductores paralelos
 - Líneas coaxiales
 - Línea de alambres paralelos

CONDUCCIÓN EN LOS GASES

- ▶ El tubo fluorescente
- ▶ La línea de Lecher

Líneas de transmisión

La instalación de una antena se debe hacer, preferentemente, en un espacio libre, alejada de las construcciones edilicias, así como de líneas de teléfono o de transporte de energía eléctrica de mucha potencia.

Por otro lado, el transmisor que genera la potencia de RF -radio frecuencia- para conducir a la antena, está casi siempre alejado de los terminales de alimentación de la antena.

El lazo de conexión entre ambos -antena y transmisor- es una línea de transmisión de RF. Ésta tiene la función de transportar potencia de RF de un lugar a otro, tan eficientemente como sea posible. Esto significa que la relación de potencia transferida por la línea a la potencia perdida en ella es tan grande como las circunstancias lo permitan.

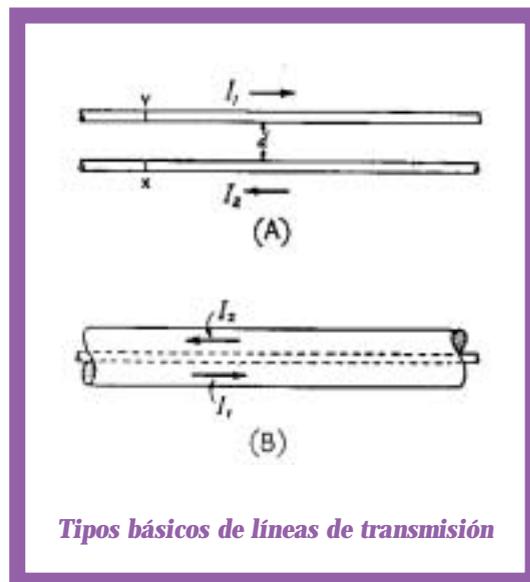
En radio frecuencia, todos los conductores que tienen una longitud comparable con la longitud de onda, irradian potencia. Esto significa que todos los conductores pueden convertirse en una antena.

Pero, es necesario tener un especial cuidado para minimizar la radiación de los conductores utilizados en líneas de transmisión de RF. Sin este especial cuidado, la potencia radiada por la línea puede ser mucho más grande que las pérdidas en la resistencia del conductor y del dieléctrico. La pérdida de potencia en la resistencia es inevitable; pero, la pérdida por radiación se puede disminuir.

Prevención de la radiación

Las pérdidas por radiación de las líneas de transmisión pueden preverse con el uso de un arreglo de dos conductores, dispuestos de tal forma que el campo electromagnético de uno es balanceado en todos lados por un campo igual y opuesto producido por el otro.

En este caso, el campo resultante es cero en todo punto del espacio; en otras palabras, no hay radiación.



Por ejemplo, la figura A muestra dos conductores paralelos portadores de las corrientes I_1 e I_2 que fluyen en direcciones opuestas.

Si la corriente I_1 en el punto Y del conductor superior tiene la misma amplitud que la corriente I_2 correspondiente al punto X en el conductor inferior, el campo producido por las dos corrientes es igual en magnitud.

Como las dos corrientes están fluyendo en direcciones contrarias, el campo de I_1 en Y

está 180 grados desfasado con respecto al campo de I_2 en X. Sin embargo, el viaje del campo de X hacia Y toma un determinado tiempo.

Si I_1 e I_2 son corrientes alternas, la fase del campo de I_1 en Y ha cambiado en ese intervalo de tiempo, tal que, en ese instante, el campo de X alcanza al de Y. Estos dos campos en Y no están exactamente desfasados en 180 grados en todos los puntos del espacio, excepto cuando los dos conductores ocupan el mismo espacio -obviamente, una condición imposible si son dos conductores separados-.

La mejor condición que se puede conseguir es que los dos campos se cancelen mutuamente. Esto puede ser realizado haciendo que la distancia d entre los dos conductores sea lo suficientemente pequeña como para que el intervalo de tiempo durante el cual el campo de X está moviéndose hacia Y sea una pequeña parte del ciclo. Cuando éste es el caso, la diferencia entre los dos campos en un punto dado es próxima a 180 grados y la cancelación es prácticamente completa.

Los valores prácticos de d -la separación entre los dos conductores- están determinados por limitaciones físicas en la construcción de la línea. Una separación que encuentra la condición "muy pequeña" a una frecuencia, puede ser muy grande en otra. Por ejemplo, si d es quince centímetros, la diferencia de fase entre los dos campos en Y es sólo una fracción en grados, si la frecuencia es de 3,5 MHz; esto es porque la distancia de 15 cm es una pequeña fracción de longitud de onda para esa frecuencia. Pero, para una

frecuencia de 144 MHz, la diferencia de fase es de 26 grados y para 420 MHz es de 23 grados. En ninguno de esos casos los dos campos se cancelan mutuamente. La separación debe ser muy pequeña en comparación con la longitud de onda utilizada.



En el caso de nuestro equipo, la frecuencia es de, aproximadamente, 400 MHz y la separación entre conductores es de unos 5 cm, lo cual es mucho mayor que lo deseable; pero, tomamos esta decisión priorizando la estabilidad mecánica y la visualización del fenómeno con un tubo fluorescente.

La línea de transmisión consiste en dos conductores paralelos -como se muestra en la figura A-, que se denomina habitualmente línea de conductores paralelos, línea de alambres abiertos, línea de dos alambres o bifilar.



Efecto de blindaje

Un segundo tipo general de construcción de líneas se muestra en la figura B. En este caso, el conductor es un tubo que encierra al otro, generando una línea coaxial o líneas concéntricas.

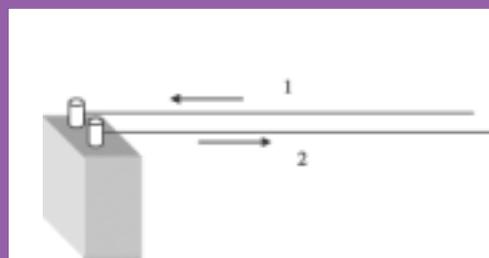
La corriente que fluye en el conductor interno es balanceada por una corriente igual que fluye en dirección opuesta en la superficie interior del conductor externo.

Debido al efecto *skin*, la corriente en la superficie interior del tubo no penetra lo suficiente para aparecer en la superficie exterior. En realidad, el campo electromagnético total fuera de la línea coaxil es el resultado de corrientes que fluyen sobre el conductor interior, y siempre es cero debido a que el tubo actúa como un blindaje de RF

La energía se transfiere por el campo, el que se sostiene con las corrientes que circulan por el conductor interior y por el lado interno del conductor exterior.

Corrientes que fluyen en líneas largas

Imagine que la conexión entre la batería y los dos alambres se realiza instantáneamente y, luego, se abre.

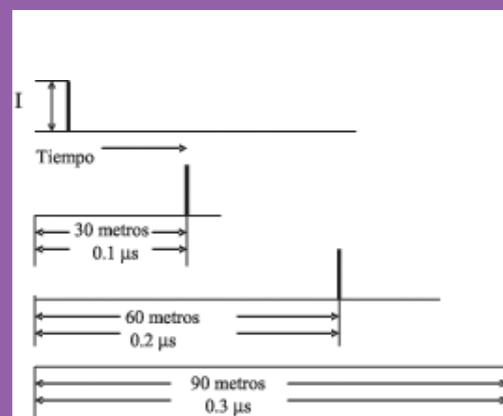


Corrientes que fluyen a lo largo de la línea de transmisión

Durante el tiempo en que los alambres están en contacto con los bornes de la batería, los electrones del alambre 1 son atraídos por el

terminal positivo de la batería y un número igual de electrones en el alambre 2 es repelido en el terminal negativo.

Esto sucede, en principio, sólo cerca de los terminales de la batería, ya que el efecto eléctrico no viaja a velocidad infinita. En algún tiempo, desaparecen antes de que la corriente se haga evidente en el otro extremo del alambre.



Pulso de corriente viajando a lo largo de una línea de transmisión a la velocidad de la luz; se muestra la posición a intervalos de 0.1 microsegundos

Habitualmente, el tiempo en que desaparece esta corriente es corto, ya que la velocidad de viaje a lo largo del alambre es próxima a la de la luz -sería necesario medir tiempos de millonésimas de segundos para cuantificar el fenómeno-.

Por ejemplo, supongamos que el contacto con la batería es tan corto como una fracción de microsegundo. Luego, el pulso que viaja por el alambre se puede representar como una línea vertical. A la velocidad de la luz,

este pulso viaja 30 metros en 0,1 microsegundos, 60 metros en 0,2 microsegundos, 90 m en 0,3 microsegundos y, así, hasta donde llegue la línea.

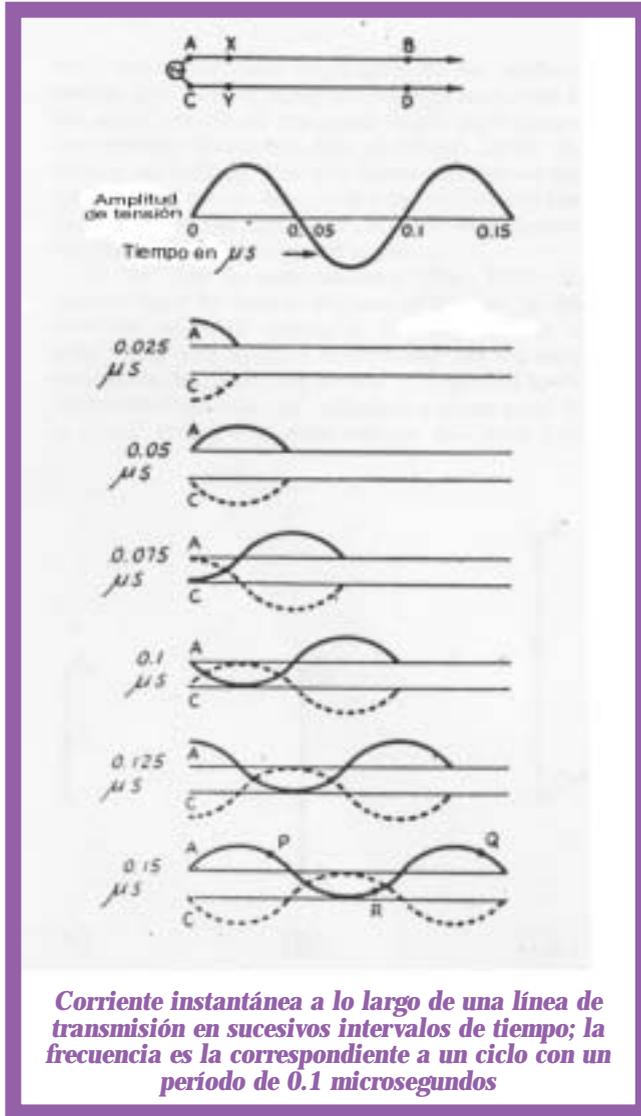
La corriente no existe a lo largo de todo el alambre; pero, sí está presente en los puntos alcanzados por el pulso en su viaje.

En este punto está presente en ambos alambres, con los electrones moviéndose en una dirección en uno de los alambres y en dirección contraria en el otro alambre.

Si la línea es infinitamente larga, y no tiene resistencia u otra causa de pérdida de energía, el pulso viaja indefinidamente. Extendiendo el ejemplo, no es difícil ver que, si en vez de un pulso enviáramos muchos pulsos separados entre ellos por igual tiempo, éstos viajarían a lo largo de la línea igualmente espaciados. Incluso, cada pulso podría tener una amplitud diferente si se variara la tensión de fuente para los distintos pulsos. Además, éstos podrían estar tan cercanos que se tocaran entre ellos y, en ese caso, tendríamos corrientes presentes a lo largo de toda la línea.

Longitud de onda (λ)

Se desprende que la tensión alterna aplicada a la línea da lugar a la aparición de una distribución de corriente como ésta:



Si la frecuencia de la tensión de alterna es de 10 MHz, cada ciclo ocupa 0,1 microsegundo; así, un ciclo completo de la corriente está presente a lo largo de 30 metros de la línea. Ésta es la distancia de una longitud de onda. Las corrientes observadas en B y D ocurren justo un ciclo más tarde que las corrientes en A y C. O sea, las corrientes observadas en A

y C no aparecen en B y D hasta un ciclo más tarde.

Como la tensión aplicada está cambiando, las corrientes en la línea también están cambiando proporcionalmente. Las corrientes en un punto tienen el valor que tenían en un punto anterior un instante antes.

Esto es cierto en todos los puntos de la línea. En algún instante, la corriente que hay en un lugar a lo largo de la línea desde A hasta B o de C hasta D es diferente de la corriente en todos los otros puntos en esa misma distancia. Por otro lado, en algún punto de la línea, la corriente va a tomar todos los valores diferentes posibles durante un ciclo.

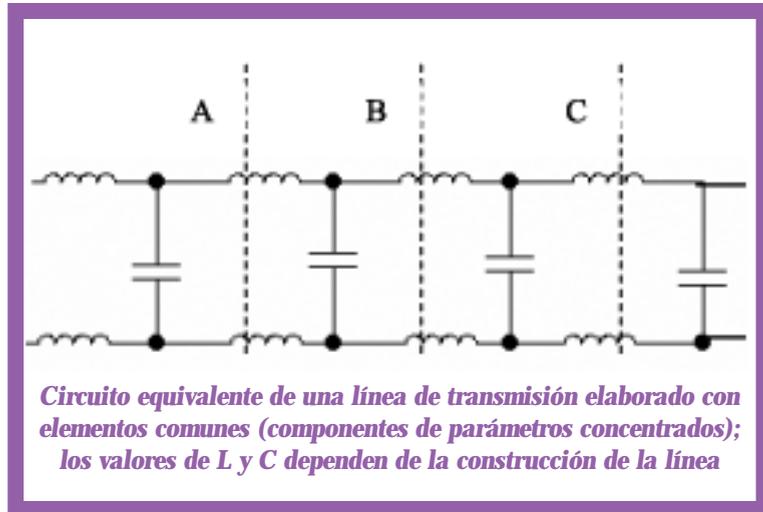
Por eso, si no hay pérdida, un amperímetro insertado a lo largo de la línea en cualquier punto, mediría lo mismo. La fase de la corriente sería diferente; pero, no lo podríamos apreciar con un amperímetro. Se supone que el amperímetro está midiendo valores eficaces.

Velocidad de propagación

Cuando los conductores están separados por aire, la energía viaja por la línea a una velocidad próxima a la de la luz. La presencia de dieléctricos reduce la velocidad, ya que las ondas electromagnéticas viajan a menor

velocidad en dieléctricos que en el vacío.

La longitud de onda en una línea práctica es siempre más corta que en el vacío.



Impedancia característica

Tratándose de una línea perfecta, sin resistencia, surgen preguntas: ¿Cómo es la amplitud de corriente en el pulso? Si se aplica una tensión mayor, ¿resultará una corriente mayor? La corriente, ¿será siempre infinita para una tensión aplicada a un circuito sin resistencia?

Lo que se observa es una corriente que depende directamente de la tensión aplicada, como si hubiera una resistencia.

La razón de esto es que la corriente que fluye en la línea es como la corriente de cargas que fluye cuando una batería se conecta a un capacitor. Esto significa que la línea tiene capacidad distribuida. También observamos que tiene una inductancia distribuida.

Podemos pensar que la línea está compuesta por una continua serie de pequeños capacitores e inductores -conectados como en la figura-, donde cada bobina es la inductancia de una extremadamente pequeña longitud de alambre de la línea y la capacidad es la que existe entre los conductores en esa pequeña longitud.

Cada inductancia limita la velocidad a la que cada capacitor se puede cargar. El efecto es el establecimiento de una relación definida entre corriente y tensión. Así, la línea tiene una resistencia aparente o impedancia característica.

Líneas cargadas

El valor de la impedancia característica es

$$\sqrt{\frac{L}{C}}$$

en una línea perfecta en la cual no hay resistencia en los conductores ni pérdida entre ellos.

L y C son la inductancia y capacitancia, respectivamente, por unidad de longitud de la línea.

La inductancia decrece con el incremento del

Una línea con conductores gruesos y poco espacio entre ellos tiene relativamente baja impedancia característica, mientras que una con finos conductores muy espaciados tiene alta impedancia.

diámetro del conductor y la capacitancia decrece con el incremento del espacio entre conductores.

Valores comunes para líneas de conductores paralelos están entre 200 y 800 Ohm. Para líneas coaxiales, los valores están entre 50 y 100 Ohm.

Líneas adaptadas

Para la explicación anterior supusimos una línea infinitamente larga; pero, las líneas reales que se usan habitualmente tienen una longitud definida, y son terminadas o conectadas a una carga a la cual se transmite la energía.

Si la carga es una resistencia pura de valor igual a la impedancia característica, la corriente que viaja a lo largo de la línea no encuentra cambios cuando llega a la carga.



Línea de transmisión terminada en una carga resistiva igual a su impedancia característica

En consecuencia, si sustituimos la sección C por "algo" (otra sección, o una configuración L-C, etc.) que tenga las mismas características eléctricas, la onda que pasa de la sección B a la sección C no reconoce la diferencia. Una resistencia pura igual a la impedancia característica de la sección C -la cual es también la impedancia característica de la línea- presenta esta condición. Cuando la línea es infinitamente larga, no se produce retorno de potencia.

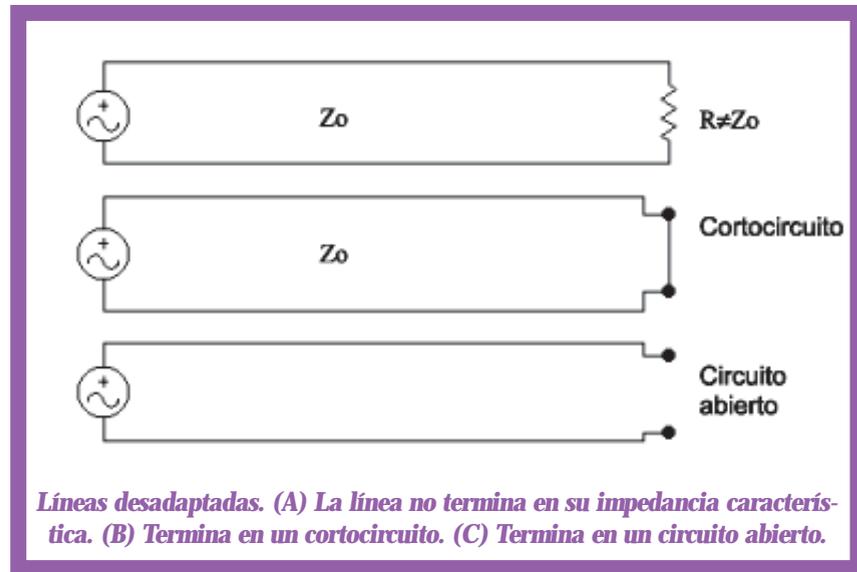
La dimensión de la impedancia característica está dada en valores reales de Ohm, sin componente imaginaria o reactiva; por tanto, es una resistencia pura.

En una línea de transmisión adaptada, la potencia viaja a lo largo de

línea. La corriente en cada línea es igual a la tensión aplicada dividida por la impedancia característica y la potencia desarrollada es E^2 / Z_0 o $I^2 \cdot Z_0$, por la ley de Ohm.

Líneas desadaptadas ($R \neq Z_0$)

Veamos el caso en que la resistencia de carga R no es igual a Z_0 . ▼



Se dice que una línea terminada en una carga resistiva pura igual a la impedancia característica está adaptada.

la línea desde la fuente hasta llegar a la carga, donde es completamente absorbida. Así, en una línea infinitamente larga, se observa lo mismo que en una línea adaptada con una impedancia equivalente a la presentada en la fuente de potencia. Esto es simplemente igual a la impedancia característica de la

La resistencia de carga no tiene la misma impedancia que el tramo de línea inmediatamente adyacente. Decimos que la línea está desadaptada con respecto a la carga.

Una mayor diferencia entre R y Z_0 produce una mayor desadaptación.

La potencia que llega a R no es totalmente absorbida -como lo era en el caso de una R igual a la impedancia característica Z_0 - porque R requiere una relación tensión- co-

riente diferente de la que se establecía a lo largo de la línea por la que viaja la potencia. En consecuencia, R absorbe sólo parte de la potencia que llega allí.

El resto actúa como si hubiese chocado contra una pared y comienza a regresar por la línea hacia la fuente.

Hay una potencia que se refleja. Mientras mayor es la desadaptación, mayor es el porcentaje de la potencia incidente que se refleja.

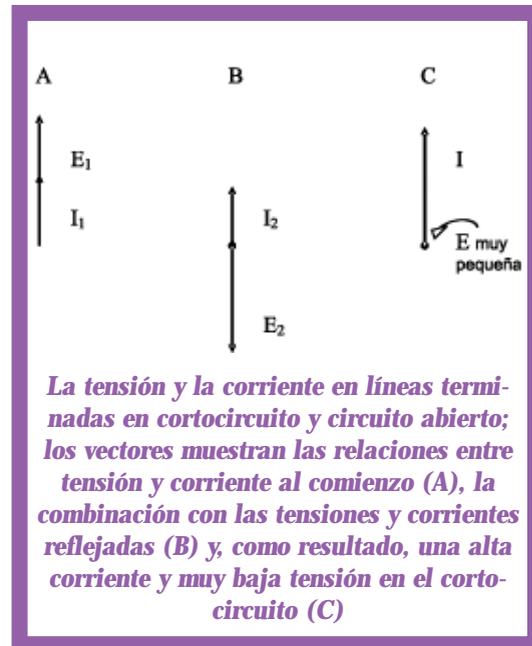
Un caso extremo es cuando R es cero (un cortocircuito) o infinito (un circuito abierto). En este caso, toda la potencia que llega al final de la línea es reflejada.

Siempre que hay una desadaptación, hay potencia que está viajando en ambas direcciones a lo largo de la línea. La relación entre la tensión y la corriente es la misma para la potencia reflejada que para la incidente, ya que está determinada por la Z_0 de la línea. Tensión y corriente viajan a lo largo de la línea en ambas direcciones, de la misma manera que el desplazamiento de la onda que planteábamos como "Corriente instantánea a lo largo de una línea de transmisión en sucesivos intervalos de tiempo".

Cuando la fuente de potencia es un generador de corriente alterna, la tensión incidente y la tensión de retorno están simultáneamente presentes a lo largo de una línea desadaptada, de tal forma que la tensión en algún punto de la línea es la suma de las dos componentes teniendo en cuenta la fase. Lo mismo ocurre para la corriente.

El efecto de las componentes incidente y reflejada puede entenderse mejor si se consideran antes dos casos límite: la línea cortocircuitada y la línea abierta.

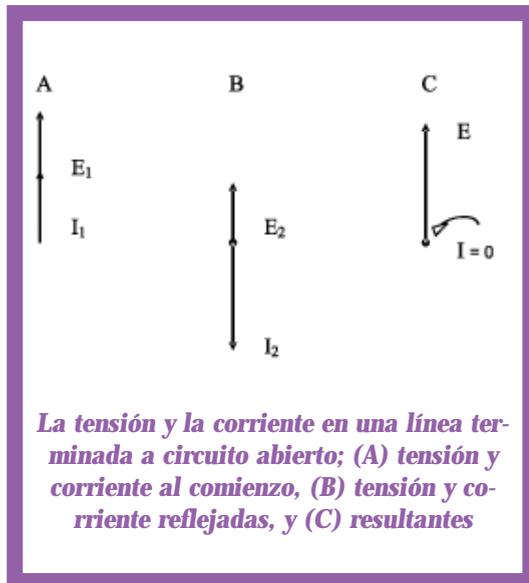
Si la línea termina en un cortocircuito -como el que presentábamos en la última figura-, la tensión en el extremo debe ser cero. Así, la tensión incidente debe desaparecer repentinamente. Esto es posible si la tensión reflejada es opuesta en fase y de la misma amplitud:



La corriente, sin embargo, no desaparece en el cortocircuito. En realidad, la corriente incidente fluye a través del cortocircuito y existe, además, una componente reflejada en fase y de la misma amplitud. La tensión reflejada y la corriente deben tener la misma amplitud que la tensión y la corriente incidentes, debido a que no se utiliza potencia en el cortocircuito y que éstas retornan a la fuente.

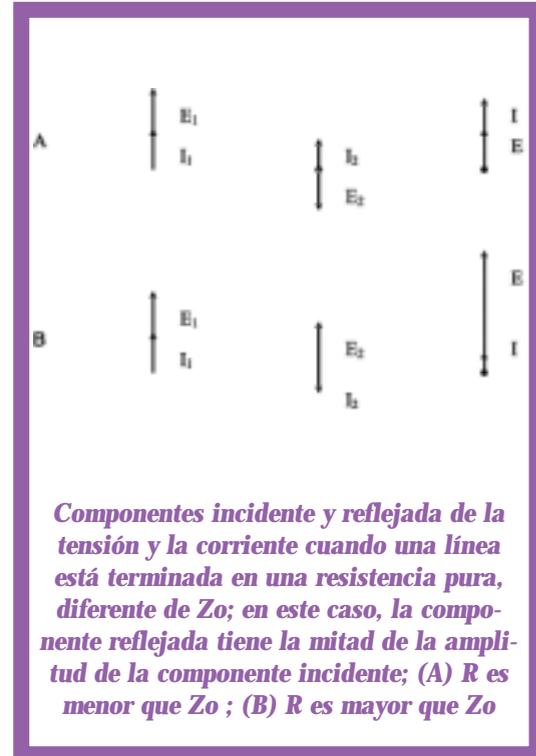
Revertiendo la fase de la tensión o la corriente -pero, no ambas simultáneamente-, revertimos el flujo de la potencia. En el caso del cortocircuito, se invierte la fase de la tensión pero no la de la corriente.

Si la línea es una línea abierta, la corriente al final de la línea debe ser cero. En este caso, la corriente reflejada está 180 grados desfasada con respecto a la corriente incidente y tiene la misma amplitud. La tensión reflejada está en fase con la incidente y tiene la misma amplitud.



En el caso de una línea terminada en una resistencia finita, sólo parte de la potencia que llega al final de la línea es reflejada. O sea que la tensión reflejada y la corriente son menores que las tensiones y corrientes incidentes. Si R es menor que Zo, las tensiones incidente y reflejada están desfasadas en 180°, como en el caso de la línea en cortocircuito; pero, las amplitudes no son iguales porque no desaparece toda la tensión en R. De manera similar, si R es mayor que Zo, las

corrientes reflejada e incidente están desfasadas 180° como en el circuito abierto; pero, no toda la corriente desaparece en R, tal que la amplitud de la incidente no es igual a la reflejada.



Note en la figura que la corriente y la tensión en R están en fase, ya que R es una resistencia pura.

Coeficiente de reflexión

El coeficiente de reflexión, ρ , es la relación entre la tensión reflejada y la incidente:

$$\rho = \frac{E_r}{E_i}$$

El coeficiente de reflexión está determinado por la relación entre la impedancia Z_0 de la línea y la carga en que está terminada la línea.

El coeficiente de reflexión nunca puede ser mayor que 1 (caso en el que toda la potencia incidente es reflejada) ni menor que cero (que indicaría una adaptación perfecta entre la carga y la línea).

Si la carga es puramente resistiva, el coeficiente de reflexión está dado por:

$\rho = \frac{R - Z_0}{R + Z_0}$	$\rho > 0$, si $R > Z_0$ $\rho < 0$, si $R < Z_0$
----------------------------------	--

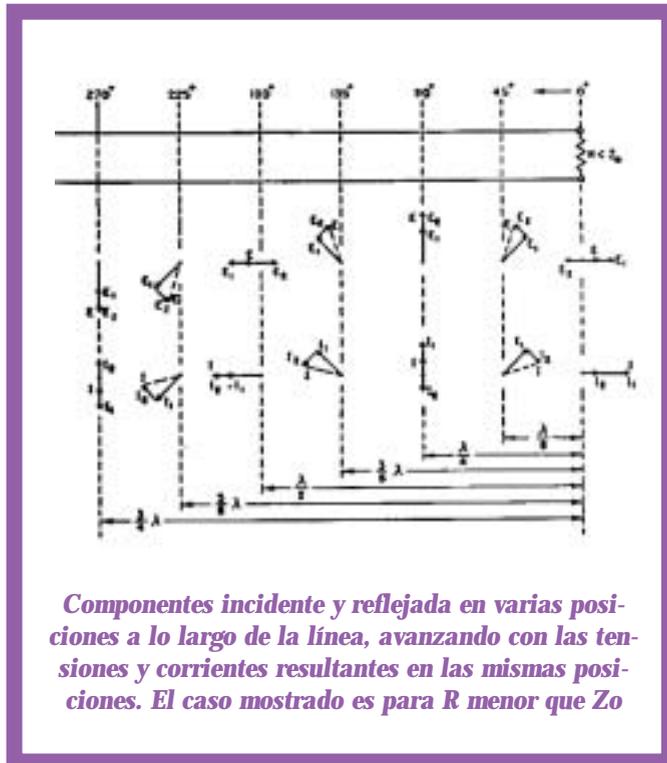
Donde:

- R es la resistencia de carga de la línea.

En esta expresión, ρ es positivo si R es mayor que Z_0 y negativo si R es menor que Z_0 . El cambio de signo acompaña al cambio de fase de la tensión reflejada, descrita antes.

Ondas estacionarias

Como se podría esperar, la reflexión no puede ocurrir sin afectar las tensiones y las corrientes en la línea. Hacer una detallada descripción con palabras sería complicado y tedioso, así que intentaremos mostrar lo que sucede usando un diagrama con vectores en algunos puntos clave.



En la figura se muestra un caso en que la resistencia R es menor que Z_0 . Pueden verse los vectores tensión y corriente en la carga, R , en relación con la posición. Volviendo por la línea hacia atrás desde la carga R hacia la fuente de potencia, los vectores incidentes E_1 e I_1 , están adelantados con respecto a los vectores en la carga, según la posición que ocupan a lo largo de la línea, medida en grados eléctricos (también se muestra la distancia correspondiente en fracciones de longitud de onda). Los vectores que ilustran la tensión y corriente reflejadas E_2 e I_2 , sucesivamente, atrasan lo mismo con respecto al vector en la carga.

Este desfase, retraso y adelanto, es la consecuencia natural de la dirección a la cual

están viajando las componentes incidente y reflejada, además del hecho de que a la potencia le toma tiempo viajar a lo largo de la línea.

El resultado es una tensión y una corriente resultantes en cada posición, como las mostradas. Aunque las componentes incidente y reflejada mantienen sus amplitudes en el dibujo, sus relaciones de fase varían con la posición a lo largo de la línea. El corrimiento de fase causa la variación de amplitud y fase de la resultante, según la posición en la línea.

Consideremos la variación de la amplitud (despreciando la fase) de la tensión y corriente resultantes dibujadas en varios puntos de la línea.

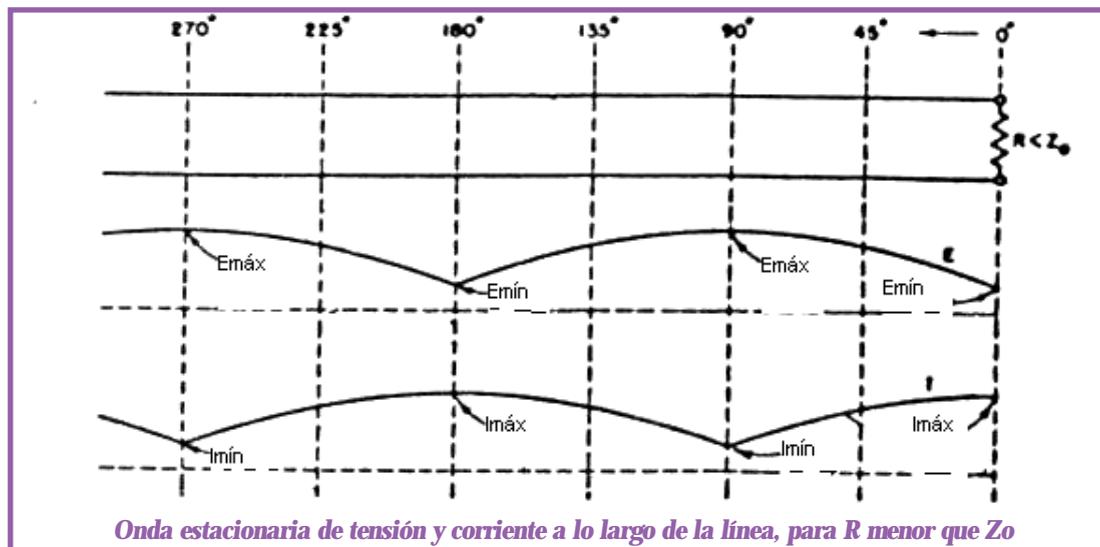
Si pudiéramos ir por la línea con un voltímetro y un amperímetro, midiendo y graficando la tensión y corriente en cada punto, veríamos que los datos recogidos coinciden con los de esta figura:

En contraste, si la carga está adaptada a Z_0 mediciones similares a lo largo de la línea mostrarían que la tensión es la misma en todo punto. La desadaptación entre la carga y la línea es la responsable de las variaciones en la amplitud, las cuales, debido a su apariencia de ondas, son llamadas ondas estacionarias. De lo anterior se desprende que cuando R es mayor que Z_0 la tensión es mayor y la corriente menor que los respectivos valores en la carga. En ese caso, la curva es inversa al caso mostrado en la figura anterior.

Después de observar las curvas de la onda estacionaria, podemos sacar algunas conclusiones:

- En la posición a 180° (1/2 longitud de onda) de la carga, la tensión y corriente tienen el mismo valor que los de la carga.
- En la posición a 90° desde la carga, volviendo hacia el generador, tensión y corriente están invertidas.

Esto es, si la tensión es menor y la corriente



es mayor que en la carga (R menor que Z_0) después de 90° o $\frac{1}{4}$ de longitud de onda desde la carga, la tensión alcanza su máximo valor y la corriente su mínimo valor.

En el caso donde R es mayor que Z_0 , tal que la tensión es mayor y la corriente menor que en la carga, la tensión tiene su mínimo valor y la corriente su máximo valor a 90° de la carga.

Note que las condiciones que existen en un punto a los 90° se repiten en un punto a los 270° ($\frac{3}{4}$ longitud de onda). Esto se puede apreciar en el gráfico donde la potencia avanza hacia la fuente: Las características de un punto se reiteran en todos los puntos múltiplos impares de 90° (múltiplos impares de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda), desde la carga.

De manera similar, la tensión y la corriente son iguales en muchos puntos múltiplos de 180° (un múltiplo de $\frac{1}{2}$ longitud de onda) de sus valores en la carga.

Relación de onda estacionaria

La relación de onda estacionaria -ROE; VSWR, *Voltage Standing Wave Relation*- es la relación entre la tensión máxima y la mínima a lo largo de la línea (o sea, la relación entre $E_{\text{máx}}$ y $E_{\text{mín}}$ en la última figura) de la onda estacionaria.

La relación entre las corrientes máxima y mínima ($I_{\text{máx}} / I_{\text{mín}}$) es la misma que la VSWR, así que se puede medir tensión o corriente para averiguar la relación de

onda estacionaria.

La ROE es un cociente que indica varias propiedades de las líneas desadaptadas. Se puede medir con razonablemente buena precisión con un equipamiento simple y, así, cuantificar las características de la línea.

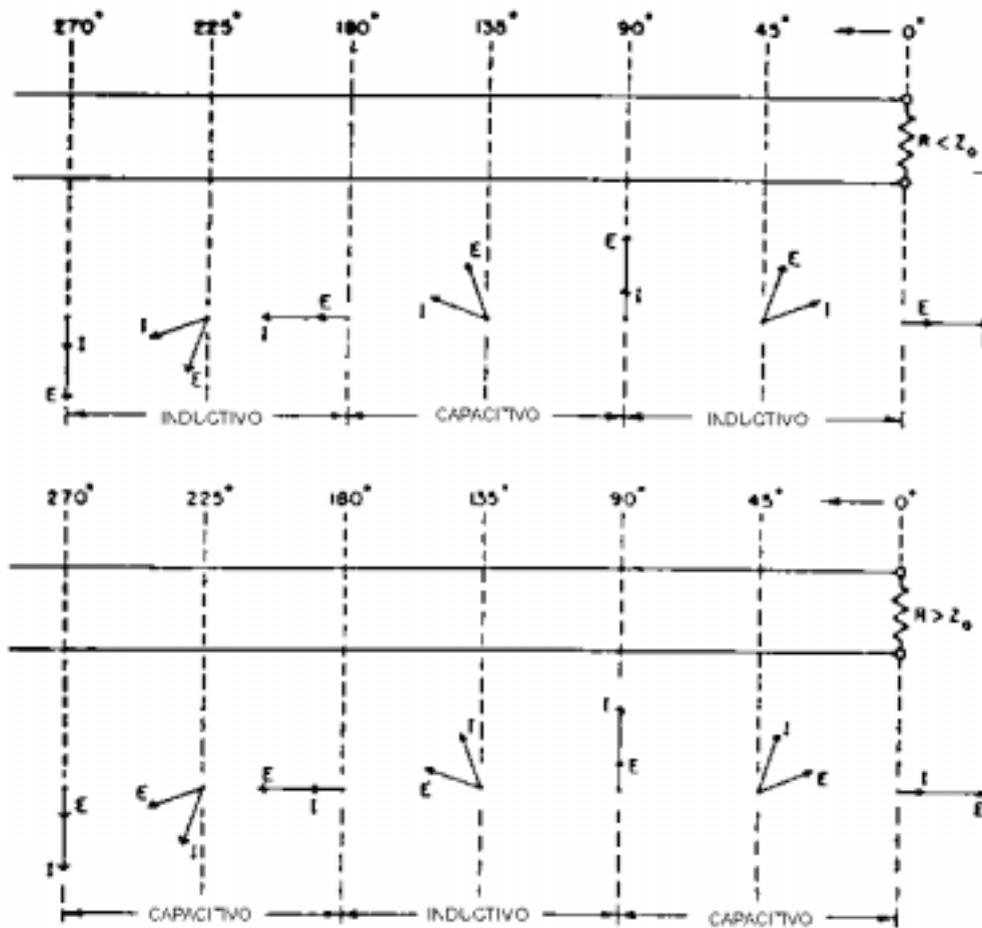
Si la carga no contiene reactancias, la ROE es numéricamente igual a la relación entre la resistencia de carga, R , y la impedancia característica de la línea:

$$ROE = \frac{R}{Z_0}, \text{ cuando } R \text{ es mayor que } Z_0$$

$$ROE = \frac{Z_0}{R}, \text{ cuando } R \text{ es menor que } Z_0$$

La menor cantidad es siempre usada en el denominador de la fracción; de manera que la ROE es un número siempre mayor que 1.

La relación muestra que la mayor desadaptación -esto es, una mayor diferencia entre R y Z_0 - da una mayor ROE. En el caso de líneas abiertas y cortocircuitadas, la ROE se torna infinita y tanto la tensión como la corriente se hacen cero en los puntos correspondientes a mínimos ($E_{\text{mín}}$ e $I_{\text{mín}}$), ya que ocurre la reflexión total al final de la línea, y las componentes incidente y reflejada tienen la misma amplitud.



Tensión y corriente resultantes a lo largo de una línea desadaptada; arriba, R menor que Z_0 ; abajo, R mayor que Z_0

Impedancia de entrada

La relación entre la tensión y la corriente en algún punto a lo largo de la línea (incluyendo los efectos de ambas componentes, la incidente y la reflejada) se aclara cuando se

muestran la tensión y corrientes resultantes - como en la figura de arriba-

Note que la tensión y la corriente no están en fase sólo en la carga sino también en puntos cada $90^\circ, 180^\circ,$ y 270° . Esto también es así

en todos los puntos que están ubicados en múltiplos de 90° desde la carga.

Suponga que la línea se corta en uno de estos puntos y que el generador o fuente de potencia se conecta a esa porción terminada en R. En estas condiciones, el generador podría "ver" una resistencia pura, como si estuviera conectado directamente a R. Sin embargo, el valor de resistencia que "ve" depende del largo de la línea:

- Si la longitud corresponde a 90° , o un múltiplo impar de 90° , donde la tensión es alta y la corriente baja, la resistencia vista por el generador podría ser más grande que R.
- Si la longitud es 180° o un múltiplo de 180° , la relación entre la tensión y la corriente es la misma que R y, entonces, el generador "ve" una resistencia igual a la resistencia de carga actual a esa longitud de línea.

La corriente y la tensión están exactamente en fase en los puntos que son múltiplos de 90° desde la carga. En todos los otros puntos, la corriente adelanta o atrasa con respecto a la tensión y, así, la carga vista por el generador donde la longitud de la línea no es un múltiplo exacto de 90° , no es una resistencia pura.

La impedancia de entrada de una línea -que es la impedancia vista por el generador conectado a la línea- tiene tanto la componente resistiva como la reactiva. Cuando la corriente atrasa con respecto a la tensión, la reactancia es inductiva; cuando atrasa la tensión, la reactancia es capacitiva.

Volvamos a la última figura. En el dibujo de arriba se muestra que, cuando la línea está terminada en una resistencia menor que Z_0 , la reactancia es:

- inductiva en los primeros 90° de la línea, moviéndose desde la carga hacia el generador,
- capacitiva en los segundos 90° ,
- inductiva los terceros 90°
- y, así, cambia cada 90° o cuarto de longitud de onda.

El dibujo de abajo muestra el caso para R mayor que Z_0 . Allí, los vectores tensión y corriente simplemente se intercambian; el vector de la corriente reflejada queda invertido en fase en la reflexión. La reactancia se vuelve:

- capacitiva en los primeros 90° ,
- inductiva en los segundos 90°
- y, así, sucesivamente.

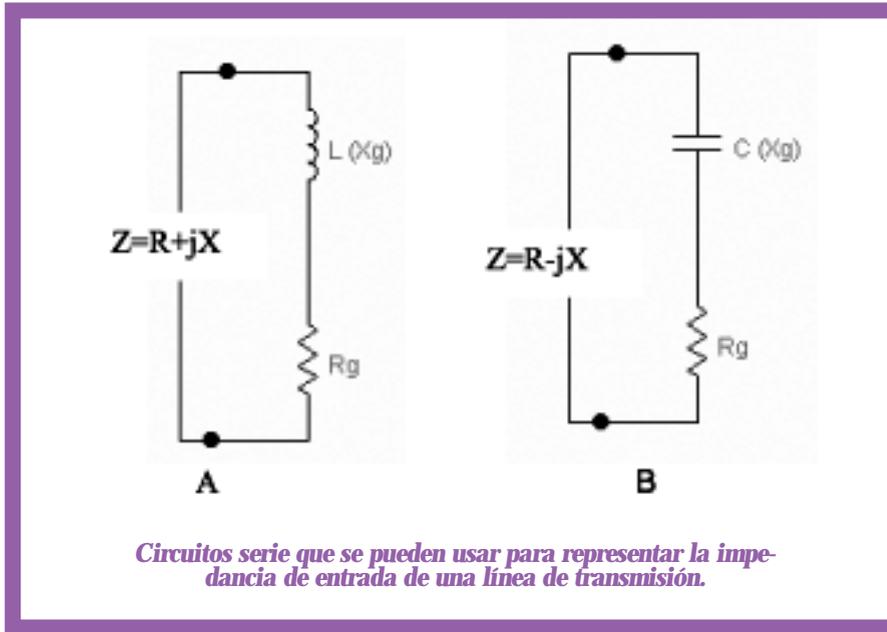
Factores determinantes de la impedancia de entrada

La magnitud y el ángulo de fase de la impedancia de entrada dependen de la ROE, de la longitud de la línea y de la impedancia característica de la línea:

- Si la ROE es pequeña, la impedancia de entrada es principalmente resistiva en toda la longitud de la línea.
- Si la ROE es alta, la componente reactiva

puede ser relativamente grande.
La impedancia de entrada de la línea se

los números complejos, donde la resistencia es la parte real y la reactancia la parte imaginaria.



Los circuitos serie son equivalentes a la actual impedancia de entrada de la línea, porque ellos tienen la misma impedancia total y el mismo ángulo de fase. También es posible formar un circuito, con resistencia y reactancia en paralelo que

puede representarse con una serie de circuitos con resistencia y reactancia.
Donde:

- R_s es la componente resistiva.
- X_s es la componente reactiva (A menudo se omite el subíndice "s").
- $R+jX$ expresa la impedancia equivalente serie.
- j se usa para indicar que R y X no se pueden sumar directamente, sino como vectores.
- Por convención, el signo "+" se asigna a j cuando la reactancia es inductiva ($R+jX$).
- El signo "-" se utiliza cuando la reactancia es capacitiva ($R-jX$).
- Para representar la impedancia se usan

que tengan la misma impedancia total y ángulo de fase que la línea -como muestra la figura de la próxima página-.

Los valores individuales en el circuito paralelo no son los mismos que en un circuito serie (sin embargo, el resultado total es el mismo); pero, los valores son relativos al circuito serie para las ecuaciones mostradas en el dibujo.

Se puede usar cualquier circuito equivalente. Según qué sucede, determinamos cuál es el más conveniente para un propósito particular.

Estos circuitos son importantes desde el punto de vista del diseño de redes de acoplamiento, cuando se desea tomar una cierta cantidad de potencia de la fuente.

Terminaciones reactivas

Hasta aquí consideramos sólo la carga resistiva pura. Usualmente, las cargas reales son resistivas puras.

Sin embargo, un sistema de antena es puramente resistivo sólo a una frecuencia. Cuando se opera en una banda de frecuencias sin reajuste, la impedancia contiene una componente reactiva.

El efecto de una combinación de una parte

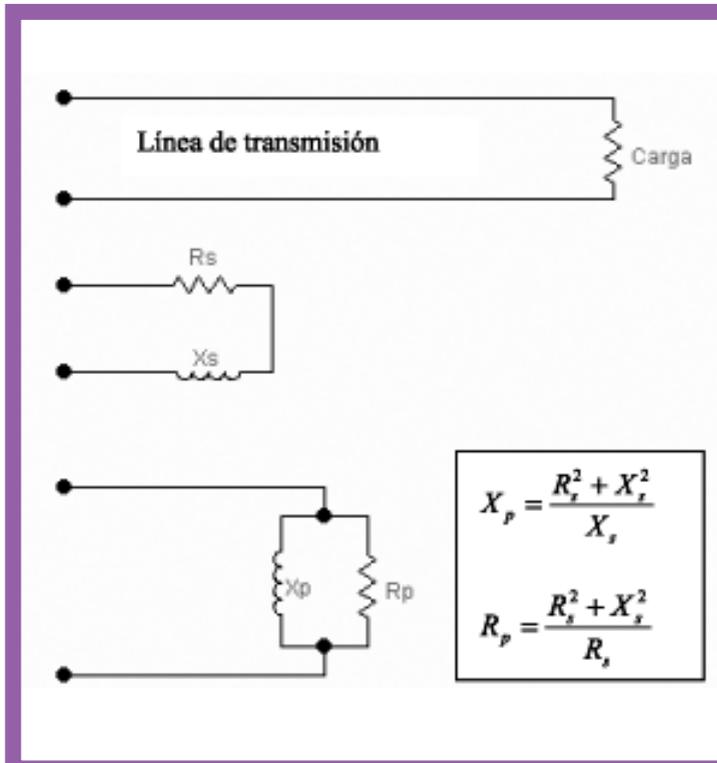
La mayoría de las líneas de transmisión usadas por aficionados están conectadas a antenas resonantes, las cuales son, por naturaleza, resistivas; en consecuencia, la carga resistiva es un importante caso práctico.

resistiva y una reactiva incrementa la ROE.

Por ejemplo, entre dos cargas -siendo una resistiva pura de 100 Ohm comparada con otra con reactancia, con la misma impedancia total de 100 Ohm-, la ROE es mayor con la carga reactiva que con la puramente resistiva.

El efecto de la reactancia en una carga es el corrimiento de fase de la corriente con respecto a la tensión, en la carga y en las componentes reflejadas de corriente y tensión.

Con una carga con reactancia inductiva, el punto de máxima tensión y mínima corriente está corrido hacia la carga. Ocurre lo contrario cuando la reactancia de la carga es capacitiva.



Impedancia de entrada de una línea terminada en una resistencia pura; la impedancia de entrada se puede representar tanto con una resistencia y una reactancia en serie como en paralelo; la relación entre los valores de R y X en los circuitos serie y paralelo equivalentes está dada por las fórmulas. X puede ser inductiva o capacitiva, dependiendo del largo de la línea, de Zo y de la carga

Cálculos con la Carta de Smith aplicados a una línea de transmisión

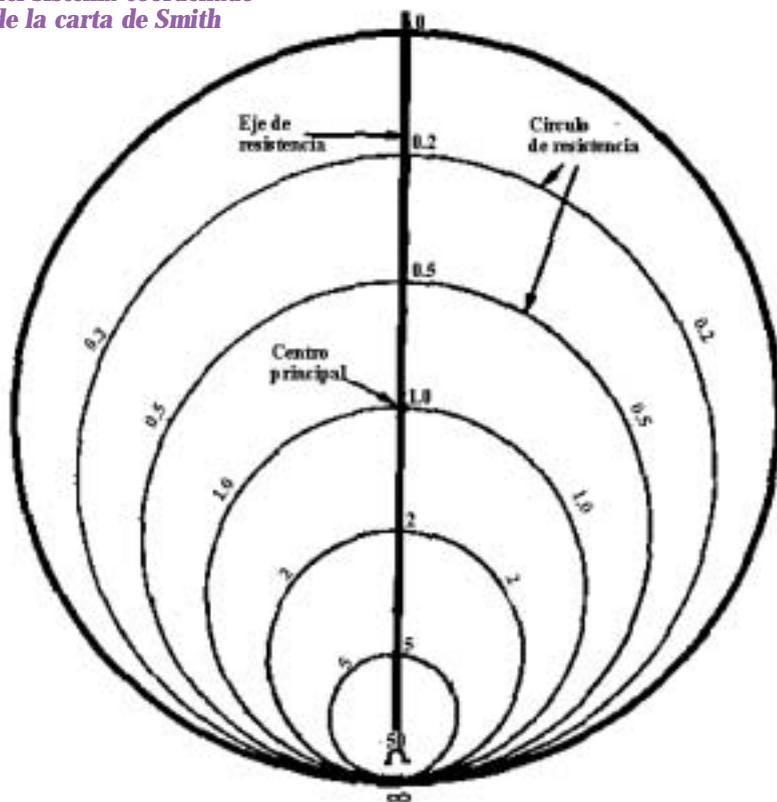
La impedancia de entrada -o la impedancia vista cuando "se mira hacia adentro" de una línea de una cierta longitud- depende de la ROE, de la longitud de la línea y de la impedancia característica Z_0 de la línea. La ROE, a su vez, depende de la carga con que está terminada la línea.

Se pueden usar complejas relaciones

matemáticas para calcular los valores de impedancias, tensiones, corrientes y ROE de una línea de transmisión particular.

Sin embargo, es mucho más fácil determinar esos parámetros gráficamente, con la ayuda de la carta de Smith. Si la impedancia de terminación (carga) es conocida, es simple establecer la impedancia de entrada de la línea para una longitud dada. Por otro lado, conociendo la longitud de la línea y la impedancia de entrada, se puede determinar la impedancia de carga. Si la carga es una antena, se puede determinar su impedancia.

Círculos de resistencia del sistema coordinado de la carta de Smith



La carta, básicamente, consiste en dos familias de curvas o segmentos de círculos. Una familia de resistencias y una familia de reactivancias.

Todos los círculos de resistencia están centrados sobre el eje de resistencias (la única recta de la carta) y son tangentes a un punto de resistencia infinita debajo de la carta según la posición de las figuras utilizadas aquí (en otra bibliografía, se encuentra a la

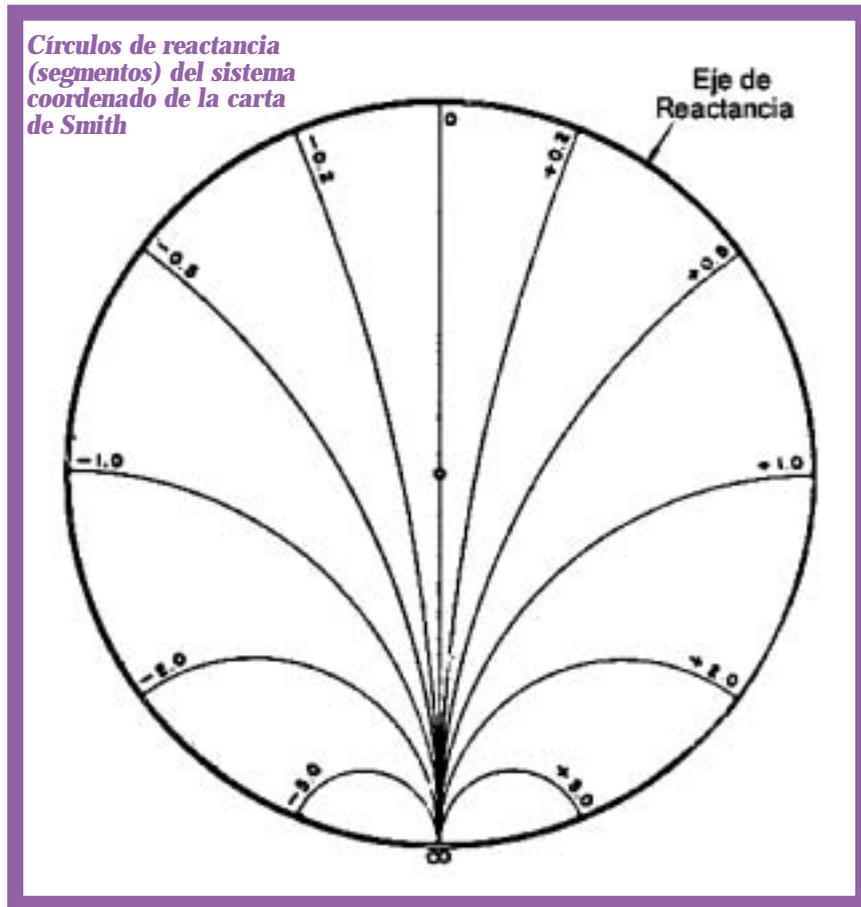
derecha). Cada círculo tiene asignado un valor de resistencia, que está indicado en el punto donde el círculo cruza al eje de resistencia. Todos los puntos de un círculo corresponden al mismo valor de resistencia.

Los valores asignados a estos círculos varían de cero -en la parte superior de la carta- a infinito -en la parte inferior de la carta- y, realmente, representan la relación respecto del valor de impedancia asignado al punto central de la carta indicado con "1.0". Este punto central se denomina centro principal. Si al centro principal se asigna al valor de 100 Ohm, luego una resistencia de 200 Ohm es representada por el círculo de 2.0, 50 Ohm por el círculo 0.5, 20 Ohm por el círculo 0.2 y, así, sucesivamente.

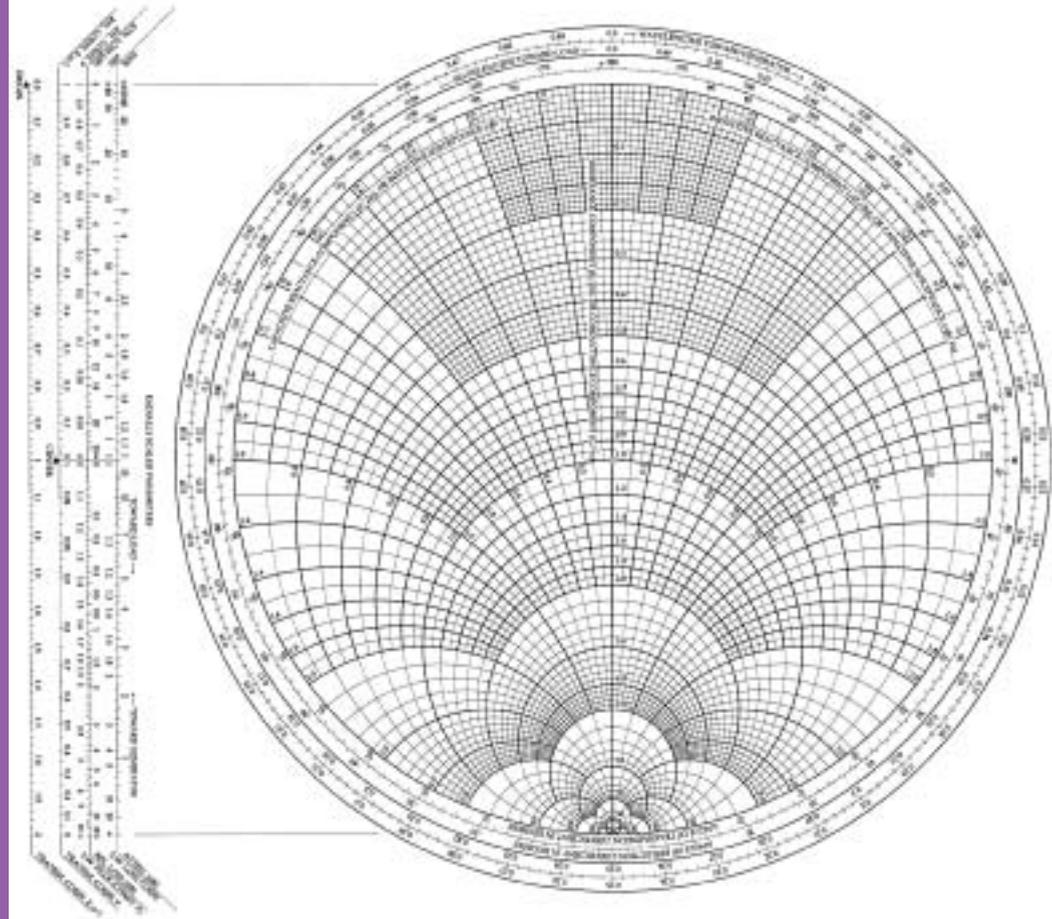
Si se asigna un valor de 50 Ohm al centro principal, el círculo de 2.0 ahora representa 100 Ohm, el círculo de 0.5 a 25 Ohm, y el de 0.2 a 10 Ohm.

En cada caso, se puede ver que el valor en la

carta está determinado por el cociente entre la resistencia actual por el número asignado al centro principal. Este proceso se llama **normalización**. Recíprocamente, los valores de la carta son convertidos al valor de resistencia actual, multiplicando el valor de la carta por el valor asignado al centro principal. Este rasgo característico permite el uso de la carta de Smith para cualquier valor de impedancia y, luego, con una línea de transmisión uniforme.



En la figura vemos un círculo de reactancias, con las líneas curvas como segmentos de círculos. Estos círculos son tangentes al eje de



Carta de Smith

Puede encontrarse en: www.wmedina.galeon.com/smith.gif

resistencia, el cual es un miembro de la familia de las reactancias (con radio infinito).

Los centros ubicados a la derecha y a la izquierda de la línea son tangentes en la parte inferior de la carta. El mayor círculo es el límite exterior de la carta y constituye el eje de reactancias.

Cada segmento de un círculo de reactancia tiene asignado un valor de reactancia, indicado cerca del punto donde el círculo toca el eje de reactancia (borde exterior). Todos los puntos a lo largo de un segmento tienen el mismo valor de reactancia. Como con los círculos de resistencia, los valores asignados a cada círculo de reactancia están normalizados con respecto al valor asignado al centro principal. Los valores a la derecha del eje de resistencia son positivos (inductivos) y aquéllos a la izquierda del eje son negativos (capacitivos).

Cuando la familia de resistencia y la familia de círculos de reactancias se combinan, dan como resultado el sistema coordenado de la carta de Smith. Las impedancias complejas pueden ser graficadas en este sistema de coordenadas.

Representación de impedancias

Supongamos que queremos representar una impedancia de 50 Ohm resistivos y 100 Ohm de reactancia inductiva ($Z=50+j100$).

Si asignamos un valor de 100 Ohm al centro principal, podemos normalizar la impedancia dividiendo cada componente por 100.

La impedancia normalizada es:

$$\frac{50}{100} + j \frac{100}{100} = 0.5 + j1.0$$

Esta impedancia se puede dibujar en la carta de Smith en la intersección del círculo de resistencia de 0.5 y el de reactancia de +1.0. Si se asigna un valor de 50 Ohm al círculo principal, la misma impedancia se representa en la intersección del círculo de resistencia 1.0 y el de reactancia de 2.0:

$$\frac{50}{50} + j \frac{100}{50} = 1.0 + j2.0$$

A través de los ejemplos podemos ver que la misma impedancia se puede representar de manera diferente, según el valor asignado al centro principal.

En la solución de problemas con las líneas de transmisión, es habitual asignar al centro principal un valor igual a la impedancia característica (Z_0) de la línea. Este valor podría también ser recordado al comienzo de los cálculos, para evitar posibles confusiones.

Circuitos abiertos y cortocircuitados

Un verdadero **cortocircuito** tiene resistencia cero y reactancia cero ($0+j0$). Esta impedancia se representa en el punto superior de la carta, en la intersección de los ejes de resistencia y reactancia. Un circuito abierto tiene resistencia infinita y se dibuja en el punto inferior de la carta, en la intersección

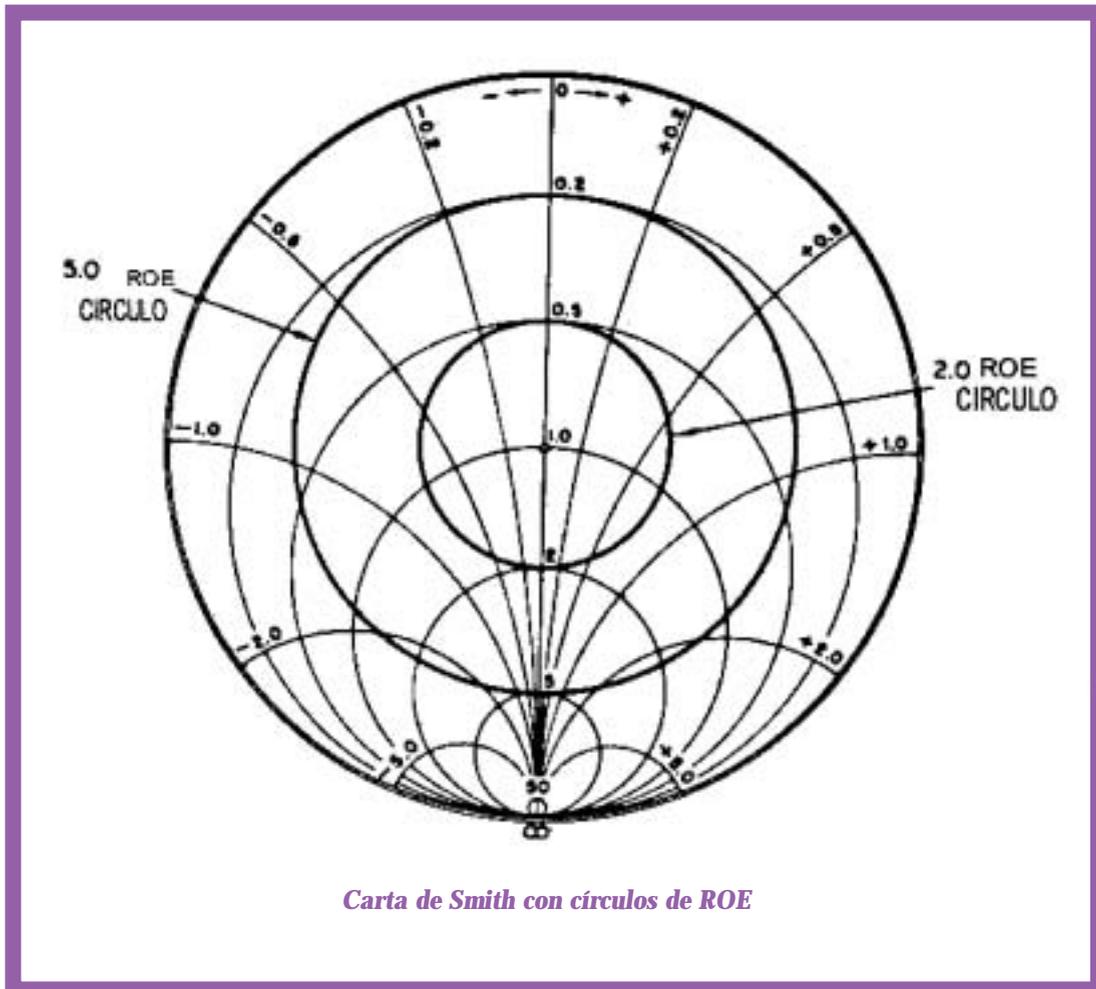
de los dos ejes. Estos dos casos especiales, a veces se usan en la adaptación de *stubs*.

Círculos de relación de onda estacionaria (ROE o SWR)

Existe una tercera familia de círculos; sus miembros, **los círculos de ROE o SWR** - *Standing Wave Relation*-, no están impresos en la carta pero pueden agregarse durante la re-

solución de algún problema.

Esta familia está centrada en el centro principal y aparece como círculos concéntricos dentro del eje de reactancias. Durante los cálculos, uno o más de estos círculos pueden sumarse a la carta, dibujándolos con un compás. Cada círculo representa un valor de ROE; todos los puntos sobre un círculo dado representan la misma ROE.



Carta de Smith con círculos de ROE

Los valores de ROE para un círculo dado se pueden determinar directamente del sistema coordinado de la carta, leyendo el valor de resistencia donde el círculo de ROE cruza al eje de resistencias, debajo del centro principal.

En el caso en que la carga está desadaptada a causa de la longitud de la línea, la ROE es una relación de 3 a 1.

Si por un momento se pueden despreciar las pérdidas en la línea, podemos suponer que la ROE se mantiene constante a lo largo de la línea. Esto se representa en la carta de Smith dibujando un círculo constante de esa relación (3:1), un círculo de radio 3 en el eje de resistencias (La próxima ilustración "Representación del ejemplo", muestra este caso).

El diseño de la carta es tal que una impedancia representada por un punto perteneciente a un círculo de ROE constante -en esta línea desadaptada-, se puede leer en las coordenadas de R y X que pasan por ese punto.

Esto lleva al uso de las **escalas de longitud de onda** cerca de la línea perimetral de la carta. Estas escalas están calibradas en términos de porciones de la longitud de onda eléctrica a lo largo de la línea de transmisión. Una escala avanza en dirección contraria a las agujas del reloj (sentido antihorario), comenzando desde el generador o entrada, avanzando hasta terminar en la carga. La otra escala comienza en la carga y avanza hacia el generador en sentido horario. El círculo completo representa media longitud de onda. Las impedancias se repiten en media longitud de onda.

Los radios de los círculos de ROE se pueden transferir de la escala externa ubicando un punto en el dibujo. Con un compás centrado en el centro de la carta, hasta la intersección del círculo de ROE constante con el eje real (de resistencia), se determina la distancia que luego se traslada a la escala de ROE, fuera del círculo de la carta.

Se concluye que la ROE es para este caso, igual a 3.0, y se observa este valor en A.

Solución de problemas con la carta de Smith

Se comenta en el aula la siguiente situación:

En una empresa dedicada a diseñar e instalar sistemas de comunicación, se necesita acoplar una antena yagi a una línea de transmisión de la que ya dispone el cliente.

En el proceso de diseño, elaboración y medición de la antena yagi, se detecta que, por efecto de la proximidad de los elementos directores y el reflector, la impedancia del dipolo teórico de 70 ohm, pasa a valer $25+j25$, como consecuencia del acoplamiento mutuo.

Si bien éste no es el método clásico de adaptación de este tipo de antena -como la de tipo gamma-, se decide adaptar a la entrada de la línea.

La línea de transmisión de que se dispone tiene una impedancia característica de 50 ohm, y una longitud eléctrica de 0.3 longitudes de onda. La antena que representa la carga o terminación de la línea, ahora es una impedancia que tiene una parte resistiva de 25 ohm y una reactancia inductiva de 25 ohm ($Z=25+j25$) y se desea determinar la impedancia de entrada a la línea.

Como la línea no está cargada con su impedancia característica, se establecerá una onda estacionaria, por lo que la impedancia de entrada ya no será de 50 ohm.

El desafío es encontrar el valor de esta impedancia de entrada.

Para superarlo:

1. Normalizamos la impedancia de carga, dividiendo ambas componentes -resistiva y reactiva- por 50 (Z_0 de la línea que se usa). La impedancia normalizada para este ejemplo es $0.5+j0.5$.

En la carta, esto se representa en la intersección para el valor 0.5 de resistencia con el círculo de reactancia +0.5.

2. Luego, dibujamos el círculo de ROE constante que pasa por el punto dibujado. El radio del círculo se puede transferir a la escala externa con el compás que se usa para dibujarlo.

En la escala externa de relación de tensiones de ROE se puede ver (en el punto A) que, para este radio, la línea está operando con una relación de tensiones de 2.6 a 1. Esta relación se puede leer en decibels en la escala adyacente, donde se expresa, para este caso, 8.4 dB.

Con una regla, se dibuja una línea radial desde el centro principal, pasando por el punto de intersección de la escala de longitudes de onda, y se lee el valor en la escala de longitudes de onda.

Como estamos partiendo de la carga, usamos la escala "hacia el generador" y leemos 0.088 de la longitud de onda.

3. Para obtener la impedancia de entrada a la línea, simplemente buscamos el punto sobre el círculo de ROE cuya longitud de onda hacia el generador es 0.3 desde la representación de la impedancia de carga.

Esto se verifica sumando 0.3 (la longitud de la línea, en longitudes de onda) al punto de referencia inicial, 0.088 -o sea, $0.3 + 0.088 = 0.388$ -, localizando sobre la escala "hacia el generador" (en D) y dibujando una segunda línea radial de este punto al centro principal.

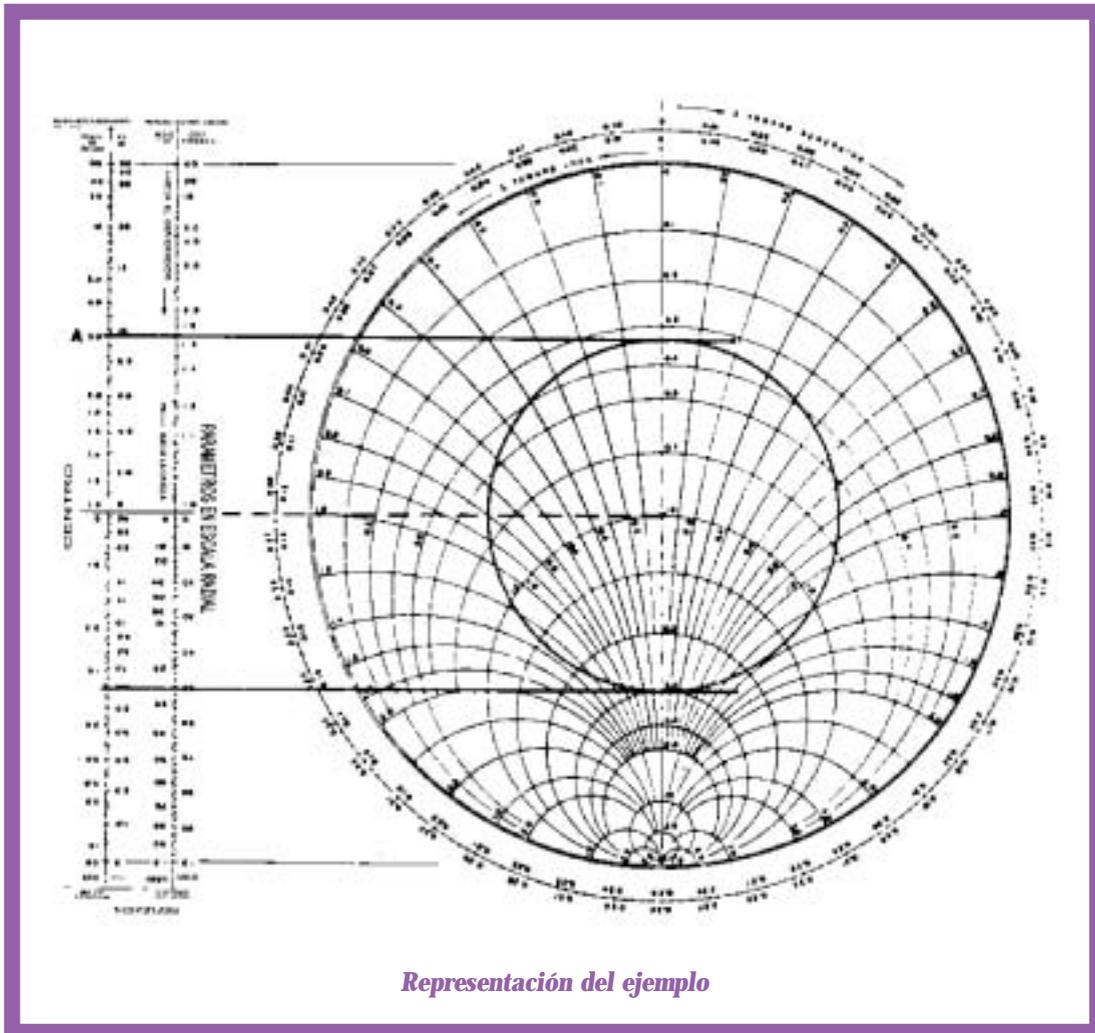
De la intersección de la nueva línea radial con el círculo representado por la ROE se obtiene la impedancia de entrada a la línea; en este caso, $0.6-j0.65$.

Para encontrar la impedancia de entrada real de la línea, multiplicamos por 50 -el valor asignado al centro principal-, igual a $30 - j32.5$, o 30 ohm de resistencia y 32.5 Ohm de reactancia capacitiva.

Ésta es la impedancia a la cual se debe adaptar un transmisor.

Otra alternativa hubiera sido medir la impedancia de entrada de la línea cargada, con un puente, en las condiciones de trabajo, lo cual es difícil en la práctica.

En resumen, además de la impedancia de entrada y la ROE, la carta permite conocer algunas otras operaciones características del



Representación del ejemplo

sistema formado por una línea y una carga; por ejemplo, el coeficiente de reflexión de tensión, tanto en amplitud como en ángulo de fase, para una carga particular dada. El ángulo de fase se lee dibujando una línea radial que pase por la impedancia representada, y se lee donde se interseca con la escala del "coeficiente del ángulo de reflexión". En el ejemplo, se leería 116.5 grados. Esto indica el ángulo con el cual la onda de tensión reflejada se atrasa con respecto a la onda

incidente en la carga.

Se notará que esos ángulos sobre la mitad izquierda (o lado de la reactancia capacitiva) son ángulos negativos. Un retraso "negativo" indica que la onda de tensión realmente reflejada adelanta a la onda incidente.

La magnitud del coeficiente de reflexión de tensión se puede leer en la escala externa con el mismo nombre. En este caso, se lee aproxi-

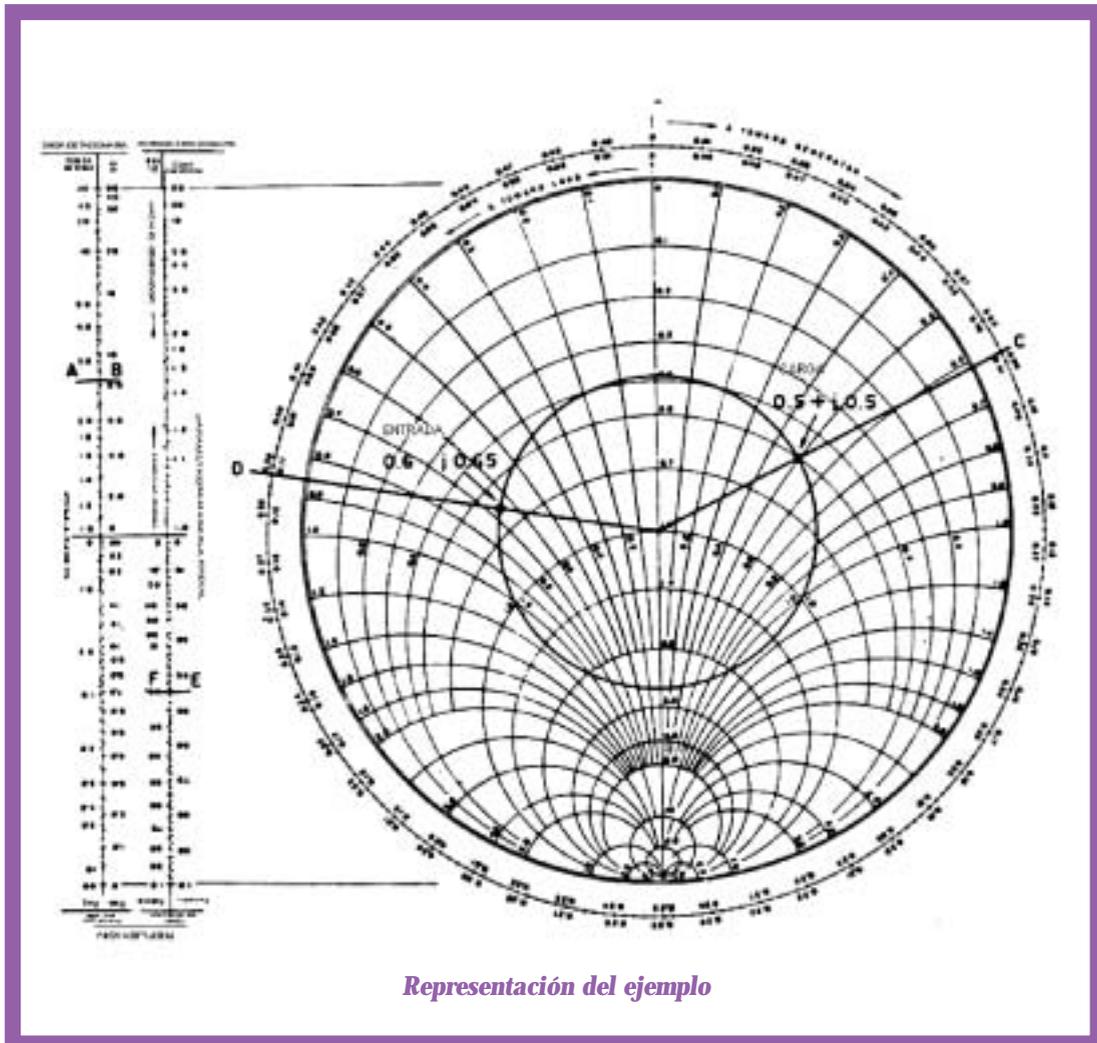
madamente 0.44 (en E), lo que significa que se refleja un 44 % de la tensión incidente.

Al lado de esta escala sobre la calibración de potencia se nota (en F) que el coeficiente de reflexión de potencia es 0.20, lo que indica que de la potencia incidente se refleja un 20 % (La cantidad de potencia reflejada es proporcional al cuadrado de la tensión reflejada.)

Coordenadas de admitancia

A veces, es conveniente convertir la impedancia en admitancia (conductancia y susceptancia).

Al trabajar con admitancias se simplifica mucho el cálculo de dos impedancias conectadas en paralelo. En este caso, los valores de



Representación del ejemplo

conductancia y susceptancia se suman directamente para encontrar el equivalente paralelo. Esta admitancia puede volver a convertirse en impedancia.

En la carta de Smith, esta conversión es muy simple. La admitancia equivalente para una impedancia que se ha representado en la carta, se ubica en un punto diametralmente opuesto a dicha representación.

En el ejemplo, donde la impedancia de entrada de la línea normalizada es $0.6-j0.65$, la admitancia equivalente cae en la intersección del círculo de ROE y la extensión de la línea recta que pasa desde el punto D al primer punto. La capacitancia pasa a ser una susceptancia positiva y la inductancia una susceptancia negativa.

La admitancia en miliohm se determina dividiendo el valor normalizado por el valor Z_0 de la línea.

Para este ejemplo, la admitancia es:

$$\frac{0.76}{50} + j\frac{0.84}{50} = 0.0152 + j0.0168 \text{ m}\Omega$$

El señor Colombo acaba de instalar una antena; pero, no se anima a conectar el equipo para probarlo.

Él sabe que una desadaptación de impedancia severa entre la antena y la línea podría quemar la etapa de salida del transmisor.

Por supuesto, el fabricante de la antena asegura, en la hoja de datos, un valor de impedancia que representaría una buena adaptación a la línea y al transmisor, para el ancho de banda de diseño. Y, el señor Colombo necesita transmitir

Las coordenadas de la admitancia pueden convertirse fácilmente en impedancia, localizando el punto en la carta que se encuentra diametralmente opuesto al punto dado para la admitancia sobre el mismo círculo de ROE.

Determinación de la impedancia de una antena real

Para determinar la impedancia de antena desde la carta de Smith, el procedimiento es similar al ejemplo anterior.

La longitud eléctrica de la línea de alimentación debe conocerse y el valor de la impedancia en el extremo de entrada de la línea debe determinarse a través de mediciones, tal como un puente de impedancias. En este caso, la antena es conectada al terminal lejano de la línea y representa la carga para la línea. La antena se puede tomar para transmisión o recepción sin diferencias. La antena es la terminación o impedancia de carga de la línea.

desplazándose fuera del ancho de banda en tan sólo el 10 %, por lo que necesita evaluar la variación de la impedancia.

El problema se agrava porque ha tenido que instalar la antena próxima a un techo parabólico, por lo que las condiciones reales difieren de las teóricas de diseño.

Entonces, se propone medir la antena conectada en la situación real, debajo de la torre, incluyendo la línea de subida.

Para resolver esta situación:

- Se utiliza la medición de la impedancia de entrada a la línea (donde se conectaría el generador), con la antena conectada al otro extremo.
- En la carta, se dibuja la impedancia medida; y, con la escala de longitudes de onda hacia la carga, se encuentra la impedancia de la antena.
- Por ejemplo: Se asume que, para este caso, es necesario medir una impedancia de entrada de $70-j25$ sobre una línea de 50 Ohm . La línea tiene un largo de 2.35 longitudes de onda y está terminada en la antena.
- Como se requiere determinar la impedancia de la antena, se normaliza la impedancia de entrada con respecto a 50 Ohm , lo cual da un valor de $1.4-j0.5$.
- Se dibuja un círculo de ROE constante que pasa por el punto y se transfiere este radio a la escala externa.
- El valor leído en la escala es 1.7 ; ahora, se dibuja una línea radial desde el centro principal, pasando a través del punto dibujado hasta la escala de longitudes de onda y se lee el valor de referencia -que, en este caso, es 0.195 (punto B) sobre la escala "hacia la carga"- (Recuerde que, en este ejemplo, arrancamos desde el generador hacia la carga).
- Para localizar la impedancia de carga sobre el círculo de ROE, a la longitud de línea se suman 2.35 longitudes de onda al valor de referencia desde la escala de longitudes de onda y se localiza el nuevo valor en la escala hacia la carga;

$$2.35+0.195=2.545.$$

- Sin embargo, la calibración se extiende sólo desde 0 a 0.5 , así que se debe sustraer un número de medias longitudes de onda desde este valor y usar sólo el valor remanente.
- En esta situación, el mayor número entero de semilongitudes de onda que se puede restar es 5 , o 2.5 longitudes de onda. Así, $2.545-2.5=0.045$, y el valor 0.045 se ubica en la escala "hacia la carga" (en C).
- Una línea radial se dibuja desde este valor al centro principal. Las coordenadas de la intersección de la segunda línea radial y el círculo de ROE representan la impedancia de carga.
- Para leer este valor, se interpola entre las coordenadas impresas; el valor leído es $0.62-j0.18$. Multiplicando por 50 , la carga real o impedancia de antena es $31-j9 \text{ ohm}$, o 31 ohm de resistencia con 9 ohm de reactancia capacitiva.

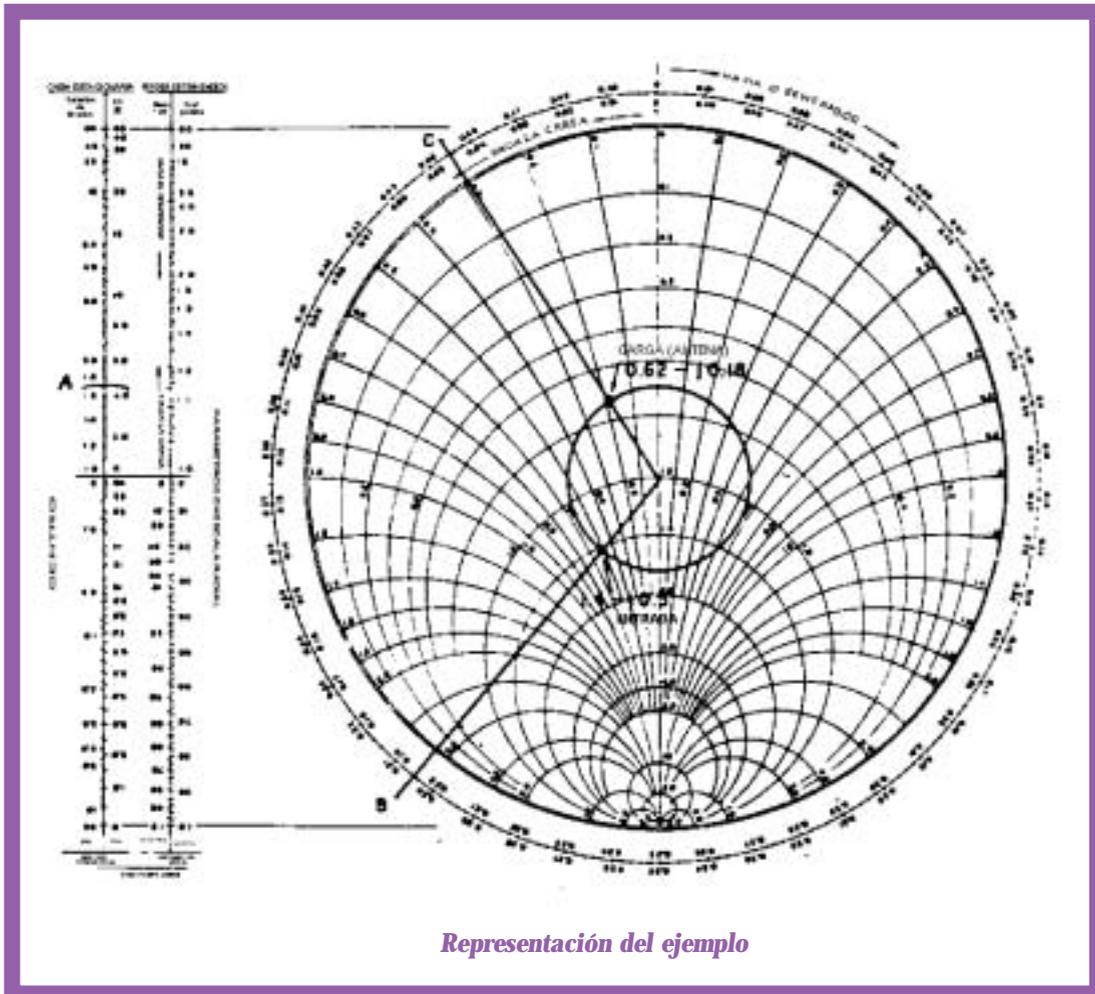
Hay otra manera de resolver este problema con la carta.

Supongamos que tenemos una antena vertical resonante cargada en la base con un plano de masa, la cual es cortocircuitada a un cuarto de longitud de onda.

Además, tenemos un ROE de 1.7 en la línea.

Sabemos que la línea tiene una longitud de 0.95 longitud de onda.

Se desea conocer la impedancia de entrada y la de antena.



Representación del ejemplo

No tenemos valores de impedancia de los datos dados para entrar en la carta; pero, podemos dibujar un círculo de ROE de 1.7. También podemos saber -por la definición de resonancia- que una antena representa una carga resistiva pura a la línea, o sea que no tiene componente reactiva.

Así, la impedancia de antena se ubica en el eje de resistencias. Entonces, teniendo el círculo de ROE dibujado en la carta, tenemos sólo dos puntos que satisfacen los requeri-

mientos de resonancia de la carga; esos puntos son $0.59+j0$ y $1.7+j0$. Multiplicando esos valores por 50 ohm, resultan resistencias de 29.5 y 85 ohm. Esto suena familiar, ya que, cuando una línea está terminada en una resistencia pura, el ROE en la línea es igual a Z_R / Z_0 o Z_0 / Z_R , donde Z_0 es la impedancia de línea y Z_R la resistencia de carga.

Si consideramos los fundamentos de antena, sabemos que la impedancia teórica de una antena de $\frac{1}{4}$ de lambda es de 36 ohm y nos

permite descartar el valor de 85 ohm; por lo tanto, tomamos el de 29.5 para continuar el cálculo.

La impedancia de entrada a la línea encontrada es $0.4-j0.21$ o $32-j10.5$ ohm. Luego de sustraer 0.5 de λ de 0.95, se encuentra como resultado 0.45 longitud de onda en la escala "hacia el generador".

Determinación de la longitud de la línea

La longitud eléctrica de un tramo de línea depende de su longitud física, de la frecuencia de la RF y de la velocidad de propagación en la línea.

Si un puente de medición de impedancia es capaz de leer con bastante precisión valores con alto ROE, la longitud de la línea puede medirse con la medición de la impedancia de entrada, cargando con un cortocircuito o con un circuito abierto.

Un método más directo es medir la longitud física de la línea y aplicar este valor a la fórmula:

$$N = \frac{Lf}{300.K}$$

Donde:

- N : Número de longitudes eléctricas en la línea.
- f : Frecuencia en MHz.
- K : Factor de velocidad de propagación de la línea.
- L : Longitud física de la línea en metros.

El factor K se puede obtener de tablas de datos de líneas de transmisión.

Este factor puede variar entre 0,66 para polietileno sólido (SP), 0,80 para espuma de polietileno (FP) hasta 0,84 para un polietileno bobinado alrededor del conductor central.

Atenuación

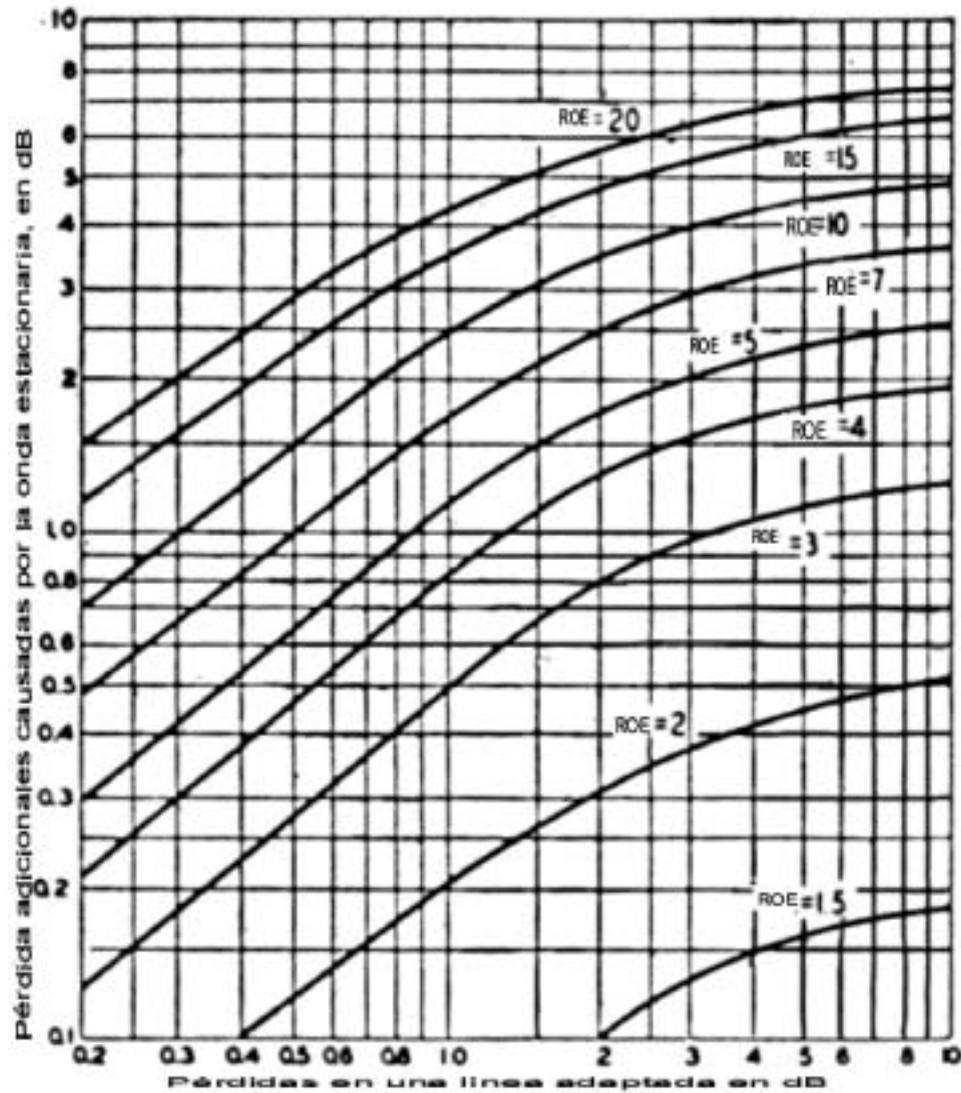
Los aspectos teóricos explicitados se pueden aplicar a cualquier tipo de línea, independientemente de su construcción física.

Una línea real tiene una pérdida asociada debida, en parte, a la resistencia de los conductores, a las pérdidas en el dieléctrico y a las pérdidas por radiación.

Las pérdidas en la línea modifican levemente la impedancia característica. Sin embargo, con respecto a la impedancia de entrada, no siempre se puede decir lo mismo.

Si la línea está cortocircuitada y tiene bajas pérdidas, la impedancia de entrada no cambia significativamente; pero, puede cambiar apreciablemente si una porción de la potencia de entrada es disipada por la misma línea. Puede existir una gran pérdida debido a que la línea es larga o tiene una alta pérdida por unidad de longitud o la ROE es alta, o una combinación de esos tres factores. La potencia reflejada que retorna a los terminales de entrada de la línea es menor cuando la línea tiene altas pérdidas.

Podría tomarse a la potencia reflejada como despreciable. El efecto es que la ROE cambia a lo largo de la línea, siendo mayor cerca de la carga y menor en los terminales de entrada.



Incremento de las pérdidas en la línea causado por la onda estacionaria (ROE medido en la carga). Para determinar las pérdidas totales en decibeles en una línea que tiene una ROE mayor que 1, primero se determinan las pérdidas para ese tipo particular de línea, la longitud y frecuencia, asumiendo que la línea está perfectamente adaptada; luego, se localiza el punto en el eje horizontal y se mueve en la curva correspondiente al valor de pérdidas adicionales en dB causadas por la onda estacionaria, dado por el eje vertical.

Líneas con pérdidas

La potencia perdida en la línea de transmisión no es directamente proporcional a la longitud de la línea, sino que varía logarítmicamente con dicha longitud.

O sea, si el 10 % de la potencia de entrada se pierde en una sección de la línea de cierta longitud, el 10 % de la potencia remanente será perdida en la siguiente sección de la misma longitud y, así, sucesivamente. Por esta razón, es conveniente expresar las pérdidas en la línea en términos de decibeles por unidad de longitud, ya que el decibel es una unidad logarítmica. Los cálculos son muy simples, porque las pérdidas totales en la línea se encuentran multiplicando los decibeles (dB) de pérdida por unidad de longitud por la longitud total de la línea. Es necesario especificar la frecuencia a la que se producen esas pérdidas, ya que éstas varían con la frecuencia.

- Las pérdidas en los conductores y dieléctricos aumentan con la frecuencia de operación pero no en la misma medida.
- Sería muy interesante contar con una relación entre pérdidas y frecuencia que permita la aplicación a todo tipo de líneas.
- Cada línea tiene que considerarse individualmente.

Efecto de la relación de onda estacionaria (ROE o SWR)

La potencia perdida en la línea:

- es ínfima cuando la línea está terminada en una resistencia igual a la impedancia característica y
- se incrementa con el aumento de la ROE.

Esto es porque el valor efectivo de la corriente y la tensión aumentan cuando crece la ROE. El incremento de la corriente eficaz aumenta las pérdidas óhmicas en los conductores y el incremento de la tensión eficaz aumenta las pérdidas en el dieléctrico.

Si la ROE en la carga no es mayor que 2, las pérdidas adicionales causadas por la onda estacionaria son comparables con las pérdidas de una línea perfectamente adaptada y no representan más de $\frac{1}{2}$ dB en líneas largas. Como $\frac{1}{2}$ dB no produce un cambio detectable en señales fuertes, se puede decir que -desde un punto de vista práctico- una ROE de 2 o menos es, en cuanto a las pérdidas, muy pequeño y se considera adaptada la línea.

El efecto de una ROE en una línea con pérdidas se muestra en la última figura. En el eje horizontal está la atenuación -en decibeles- de una línea perfectamente adaptada. El eje vertical da la atenuación adicional causada por la onda estacionaria, en decibeles.

Por ejemplo, si las pérdidas en cierta línea son 4 dB cuando está perfectamente adaptada, una ROE de 3 en la misma línea causará una pérdida adicional de 1.1 dB, aproxi-

madamente. La pérdida total será de $4+1.1\text{dB}= 5.1 \text{ dB}$.

Si la ROE fuera 10 en vez de 3, las pérdidas adicionales podrían ser de 4.3 dB, y las pérdidas totales, $4+4.3\text{dB}= 8.3 \text{ dB}$.

Es importante notar que las curvas que representan ROE en la próxima figura son valores en la carga. En la mayoría de los casos, la carga es la antena, al final de la línea de transmisión. La ROE medida en la entrada del transmisor, después de la línea, es menor, dependiendo de la atenuación de la línea.

No siempre es conveniente medir directamente la ROE en la antena. Sin embargo, usando el gráfico de la próxima figura, se puede obtener la ROE en la carga midiendo a la entrada de la línea de transmisión y usando las pérdidas conocidas o estimadas de la línea.

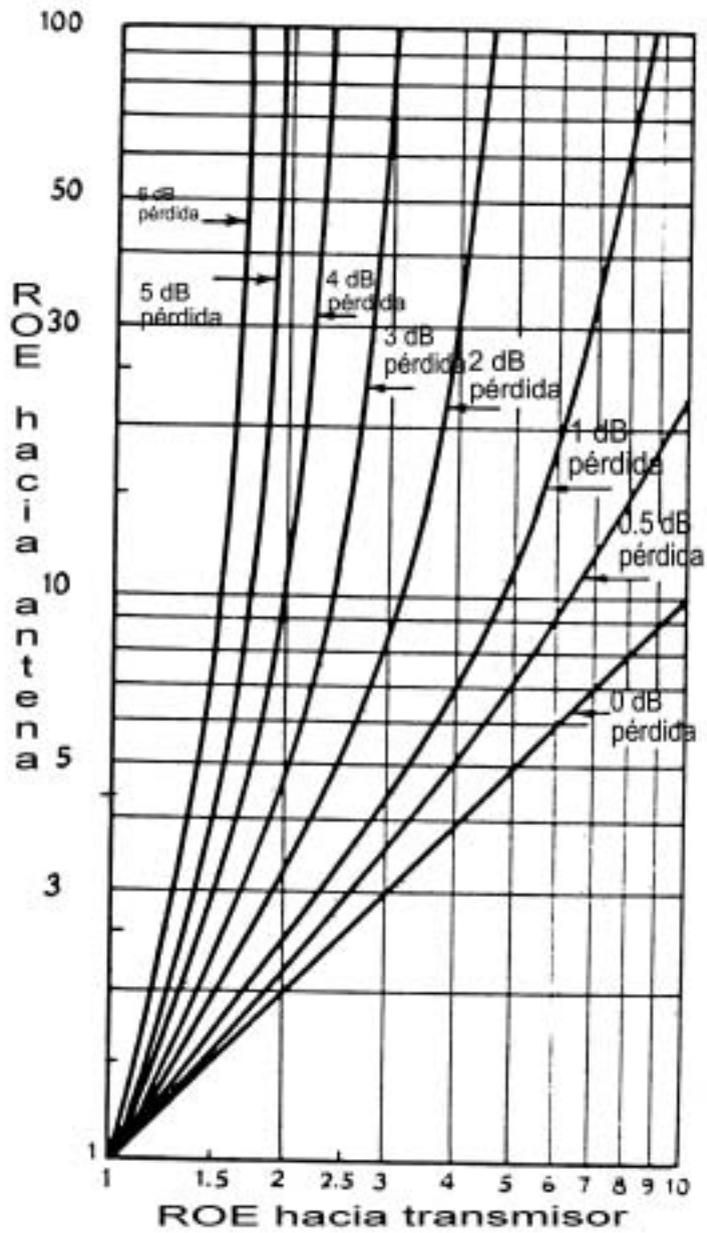
Por ejemplo, si la ROE al final del transmisor de una línea es de 3 a 1 y se conoce que la línea tiene una atenuación total (bajo condiciones de adaptación) de 1 dB, la ROE en la carga al final de la línea es de 4.5 dB. En la figura anterior, las pérdidas adicionales están alrededor de 1 dB por la presencia de la onda estacionaria. Las pérdidas totales en este caso son de 2 dB.

Es interesante notar que, cuando las pérdidas en la línea son altas, con perfecta adaptación, las pérdidas adicionales en dB causadas por la ROE tienden a ser constantes, despreciando las pérdidas por adaptación. La razón es que la cantidad de potencia disponible a ser reflejada desde la carga es reducida, porque

la potencia que llega a la carga en el primer lugar es relativamente pequeña.

Por ejemplo, si las pérdidas en la línea con adaptación perfecta son de 6 dB, sólo el 25 % de la potencia disponible originalmente puede llegar a la carga. Si la desadaptación de la carga (la ROE en la carga) es 4 a 1, el 36 % de la potencia que llega a la carga es reflejada. De la potencia originalmente puesta en la línea, el $0.25 \times 0.36 = 0.09$ o 9 % es reflejada. Por otro lado, se atenúa 6 dB en el viaje de regreso a la entrada de la línea, así que $0.09 \times 0.25 = 0.0225$ -que es escasamente superior al 2 % de la potencia original- se recupera en la entrada. Con esto, una pequeña proporción de la potencia retorna a la entrada, la ROE medida en la entrada al final de la línea podría ser sólo de alrededor de 1.35 a 1 (siendo que, en la carga, es de 4 a 1). En las líneas con pérdidas, la ROE siempre decrece a lo largo de la línea, yendo desde la carga hacia la entrada.

En líneas que tienen bajas pérdidas y están perfectamente adaptadas, una alta ROE puede aumentar bastante la potencia de pérdidas. Sin embargo, en este caso, las pérdidas totales pueden ser pequeñas todavía en comparación con la potencia que llega a la carga. Una ROE de 10 en una línea tiene sólo 0.3 dB de pérdidas cuando está perfectamente adaptada y causa una pérdida adicional de 1 dB, como muestran las curvas. Esta pérdida puede reducirse detectando la diferencia con una señal fuerte.



ROE a la entrada de una línea versus ROE en la carga para algunos valores de pérdidas de líneas adaptadas

Uso de la Carta de Smith en líneas con pérdidas

Los cálculos realizados con la carta de Smith pueden resumirse en los siguientes pasos, que no requieren ser seguidos en ese orden:

1. Normalizar y representar la impedancia de entrada (o de la carga) de la línea y construir el círculo de ROE constante.
2. Aplicar la longitud de la línea a las escalas de longitudes de onda.
3. Determinar la atenuación o pérdidas, si se requieren, por medio de un segundo círculo de ROE.
4. Leer la impedancia de carga (o de entrada) normalizada.
5. Convertir la impedancia normalizada a su valor en ohm.

A menudo, no es necesario considerar las pérdidas en los cálculos; pero, cuando las pérdidas son significativas, es importante tenerlas en cuenta. Esto requiere sólo un paso más en el procedimiento presentado antes.

En las líneas con pérdidas, la ROE no permanece constante en toda la longitud de la línea, como se dijo antes. Como resultado de esto, hay una disminución de la ROE a medida que se aleja de la carga.

Una representación real de esta situación en la carta de Smith -en lugar de dibujar un círculo de ROE constante- implicaría dibujar una espiral que avanza hacia el interior en sentido horario, desde la impedancia de carga hacia el generador. La tasa a la cual la curva en espiral avanza hacia el centro principal está relacionada con la atenuación de la línea.

Un método más simple consiste en utilizar la escala externa de "pérdidas de transmisión", en pasos de 1 dB, como lo plantea la próxima figura. Ésta es una escala relativa, en la que los pasos en dB no están numerados.

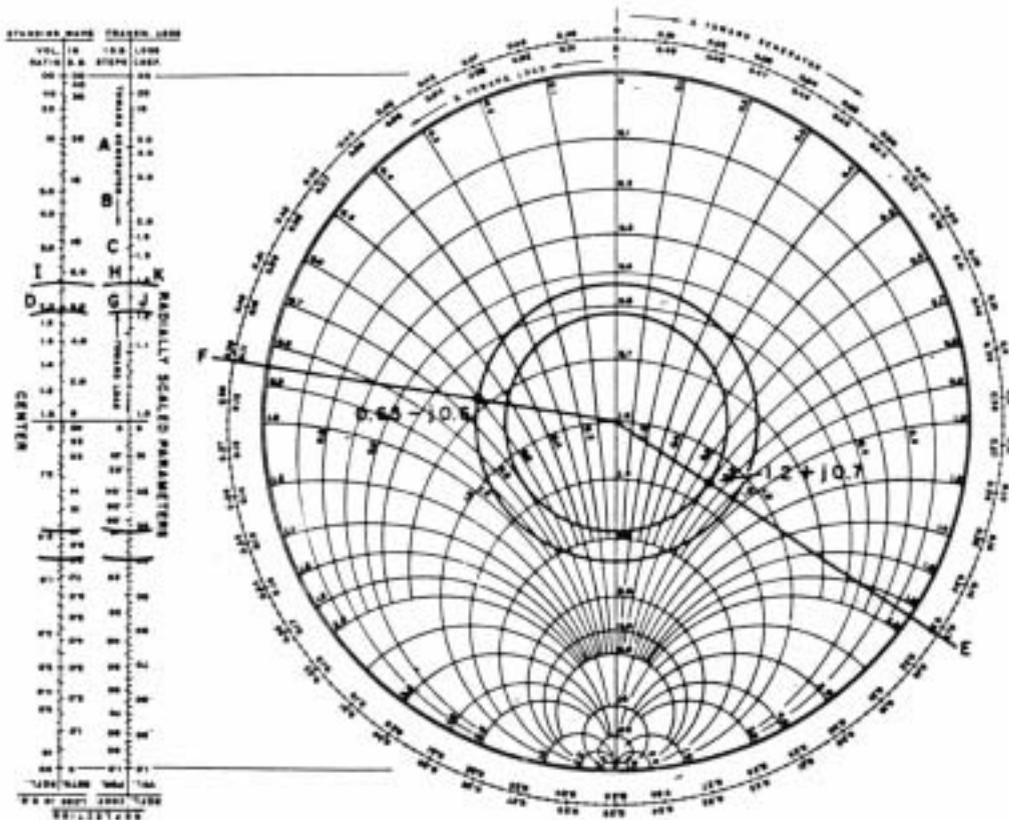
Si se comienza en la parte superior final de esta escala externa y se avanza en la dirección indicada hacia el generador:

- el primer paso de 1 dB se encuentra a un radio del centro correspondiente a una ROE de, aproximadamente, 9 (en A);
- el segundo paso de 1 dB cae en una ROE de cerca de 4.5 (en B);
- el tercero, en 3.0 (en C),
- y así, hasta el decimoquinto paso en dB que cae en una ROE de cerca de 1.05 a 1.

Esto significa que una línea terminada en un cortocircuito o en un circuito abierto (ROE infinita) y con una atenuación de 15 dB, podría mostrar una ROE de sólo 1.05 en la entrada.

Note que los pasos en dB cerca de la parte inferior de la escala están muy juntos y una atenuación de 1 o 2 dB en esta zona sólo tendrá un pequeño efecto en la ROE.

Pero, cerca de la parte superior de la escala, 1 ó 2 dB de pérdidas tendrán un efecto considerable en la ROE.



Ejemplo de cálculo con la carta de Smith considerando las pérdidas en la línea

En la solución de problemas usando la información de líneas con pérdidas, es necesario sólo modificar el radio del círculo de ROE en la cantidad indicada en la escala de pasos de 1 dB de "pérdidas de transmisión". Esto se completa dibujando un segundo círculo de ROE, del radio correspondiente.

Un técnico tiene un trozo de cable y necesita saber si puede usarlo en un caso particular.

Por ejemplo, si tenemos una línea de 50 ohm, de 0.282 longitudes de onda, con 1 dB de atenuación inherente, la impedancia de entrada medida es $60 + j35$ ohm.

Deseamos conocer la ROE a la entrada y en la carga, y la impedancia de carga.

Para esto:

1. Normalizamos la impedancia de $60+j35$. En este caso, la impedancia normalizada es $1.2+j0.7$.
2. La dibujamos en la carta.
3. Dibujamos el círculo de ROE constante y la línea radial que pasa por este punto. La ROE en la entrada de la línea es 1.9 (en D). La línea radial se lee cruzando la escala de "hacia la carga" un valor de 0.328 (en E).
4. Al 0.328 le sumamos la longitud de onda 0.282 y obtenemos un valor de 0.610, localizando este punto en la escala "hacia la carga".
5. Le restamos 0.500 y ubicamos 0.110 (en F) (En una vuelta completa, se repite el valor de impedancia).
6. Dibujamos una línea radial desde este punto hasta el centro principal.
7. Las pérdidas de la línea se transfieren al radio del círculo de ROE a la escala externa de pasos de 1 dB. Este radio corta la escala externa en G, la quinta marca desde arriba.
8. Como las pérdidas en la línea son de 1 dB, cortamos con un nuevo círculo (en H), una marca en la parte alta "hacia la carga" en la misma escala. (Esto es, el cuarto dB que se marca desde la parte alta de la escala).
9. Ahora, se transfiere este nuevo radio a la carta y se dibuja un nuevo círculo de ROE de este radio. Este nuevo radio representa la ROE en la carga y es alrededor de 2.3 sobre la escala externa de relación de tensiones de onda estacionaria.
10. En la intersección del nuevo círculo y la línea radial de la carga, se puede leer $0.65-j0.6$ como impedancia normalizada.

Multiplicando por 50, la impedancia actual de carga es $32.5-j30$ ohm. La ROE en este problema se ve incrementada desde 1.9 a la entrada de la línea a 2.3 (en I) en la carga, considerando 1 dB de pérdidas en la línea.

En el ejemplo anterior, se eligieron los valores para que coincidieran convenientemente cerca de las marcas en la escala de 1 dB. En un caso concreto, hay que hallar el valor interpolando entre las marcas.

Adyacente a la escala de pasos de 1 dB, está la escala de coeficiente de pérdidas. Esta escala da el factor por el cual hay que multiplicar las pérdidas en dB de la línea adaptada, para tener en cuenta las pérdidas que se producen cuando se establece una onda estacionaria.

Esta suma de pérdidas no afecta la ROE o el cálculo de impedancia. Ellas son, meramente, las pérdidas del dieléctrico y del cobre causadas por el hecho de que una corriente promedio mayor circula por la línea.

En el ejemplo que se representó en la última figura, el coeficiente de pérdidas en la entrada al final es 1.21 (en J) y 1.39 (en K) en la carga. Con una buena aproximación, el coeficiente de pérdidas puede ser promediado sobre la longitud de la línea; en este caso, el promedio es 1.3. Esto significa que las pérdidas totales en la línea son 1.3 veces las pérdidas de la línea adaptada (1 dB) o 1.3 dB (El mismo resultado que puede ser obtenido de la figura "Incremento de las pérdidas en la línea causado por la onda estacionaria; ROE medido en la carga", para los datos del ejemplo).

La carta de Smith puede ser usada para resolver diferentes tipos de problemas, además de los descritos brevemente aquí.

Por ejemplo, no hemos mencionado el hecho de transformar una longitud de una línea -transformar una alta impedancia (con una alta reactancia) a una impedancia puramente resistiva de bajo valor-. Esto se llama **sintonizar una línea**, para lo cual la carta es muy útil ya que elimina la necesidad de procedimientos por ensayo y error. También puede usarse para calcular longitudes de *stubs* para adaptación por cortocircuito o circuito abierto, así como averiguar el valor para adaptar una línea.

Tensiones y corrientes en las líneas

La potencia reflejada por la desadaptación de la carga no representa una pérdida propiamente dicha, excepto como una atenuación en el viaje de regreso de la onda hacia la entrada de la línea. Simplemente, representa la potencia que retorna; el efecto real es que reduce la potencia tomada de la fuente; esto es, reduce el acoplamiento entre la fuente y la línea, lo que se consigue fácilmente, reajustando el acoplamiento hasta lograr que la potencia en la línea sea la misma que se obtiene con la carga adaptada. De esta manera, se incrementan las tensiones y corrientes en el bucle a lo largo de la línea.

Un ejemplo:

Supongamos que una línea tiene una impedancia característica de 600 Ohm y está adaptada por una carga resistiva de 600 Ohm y 100 Watt de potencia dada en los terminales de entrada.

La línea simplemente ve como una resistencia de 600 Ohm a la fuente.

Por la ley de Ohm, la corriente y la tensión en una línea adaptada es:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad E = \sqrt{P \cdot R}$$

Sustituyendo P por 100 W y R por 600 ohm, la corriente es 0.408 ampere y la tensión de 245 volt. Asumiendo, por el momento, que la línea no tiene pérdidas, toda la potencia llega a la carga, y la tensión y corriente en la carga son las mismas que en los terminales de entrada.

Ahora, supongamos que la carga es 60 ohm. La ROE es 10. El coeficiente de reflexión, o relación de tensiones reflejadas o de corriente a tensión, o corriente que llega a la carga, es:

$$\rho = \frac{ROE - 1}{ROE + 1}$$

En este caso, el coeficiente de reflexión es:

$$\rho = \frac{10 - 1}{10 + 1} = 0.818$$

Así, la tensión y corriente reflejadas son iguales al 81.8 % de la tensión y corriente incidentes.

La potencia reflejada es proporcional al cuadrado de estas tensiones y corrientes; o sea, $(0.818)^2 = 0.67$ veces la potencia incidente, o 67 watt.

Como hemos asumido que la línea no tiene pérdidas, esta cantidad de potencia llega de retorno a los terminales de entrada y sustrae

de los originales 100 Watt, dejando sólo 33 Watt como la cantidad de potencia realmente tomada de la fuente.

Con relación a poner 100 watt en la carga de 60 ohm, el acoplamiento a la fuente debe incrementarse de manera que la potencia incidente menos

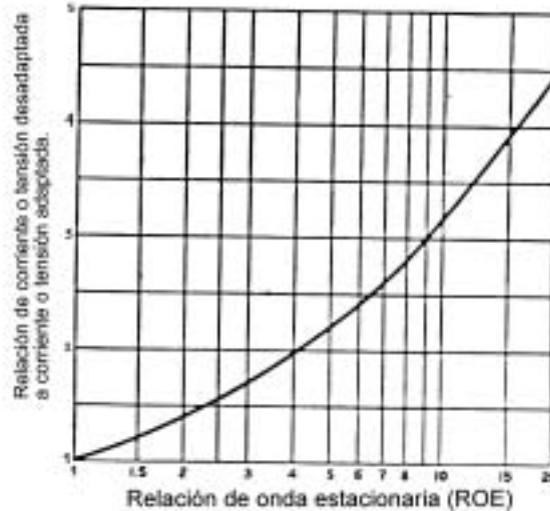
Por el redondeo de la figura en el proceso de cálculo, la ROE no trabaja afuera de 10; pero, el error es muy pequeño.

la reflejada sea de 100 watt, y dado que la potencia absorbida por la carga es sólo el 33 % de la que llega, la potencia incidente debe ser igual a $100/0.33 = 303$ watt. En una línea perfectamente adaptada, la corriente y la tensión con 303 watt en la entrada, podría ser 0.71 ampere y 426 volt, respectivamente. La corriente y la tensión reflejadas son 0.818 veces estos valores, o 0.581 ampere y 348 volt. A corriente máxima o lazos de corriente será, entonces, $0.71+0.58$ A =1.29 A, y en el punto mínimo será $0.71-0.58$ A =0.13 A. La tensión máxima y mínima será respectivamente $426+348=774$ volt y $426-348= 78$ volt.

Si bien estos ejemplos se basan en líneas sin pérdidas, se puede aproximar el efecto de atenuación sin mucha dificultad. Si la pérdida de adaptación es de 3 dB, por ejemplo, sólo la mitad de la potencia de entrada puede llegar a la carga, así hay que considerar nuevos valores de corriente y tensión en la carga. La potencia reflejada podría estar basada

en la figura atenuada y, luego, se atenúa 3 dB al arribar al terminal de entrada. El resultado final es la disminución de la ROE vista a la entrada.

La próxima figura muestra la relación de corriente o tensión en el lazo, en presencia de ondas estacionarias en relación con las corrientes y tensiones que pueden existir en una línea perfectamente adaptada. Estrictamente hablando, la curva se aplica sólo cerca de la carga en casos de líneas con pérdidas apreciables. Sin embargo, la curva muestra un valor máximo posible de corriente o tensión que puede existir a lo largo de la línea, haya pérdidas en la línea o no.



Incremento en el valor máximo de corriente o tensión en una línea por efecto de la onda estacionaria, referido a la corriente o tensión en una línea perfectamente adaptada, para la misma potencia enviada a la carga.

Tensión y corriente en el punto mínimo están dadas por el valor recíproco sobre el eje vertical.

La curva es dibujada a partir de la relación corriente (o tensión) igual a la raíz cuadrada de la ROE.

Casos especiales



Además del propósito principal de transportar potencia de un punto a otro, las líneas de transmisión tienen propiedades que son usadas en una variedad de alternativas.

Un caso especial es una línea que sea un múltiplo exacto de un cuarto de longitud de onda (90°) de largo. Como se dijo antes,

- una línea tiene una impedancia de entrada puramente resistiva cuando está terminada en una resistencia pura,
- una línea terminada en un cortocircuito o en un circuito abierto, puede ser usada en lugar de inductores o capacitores, ya que las líneas tienen una impedancia de entrada que es sustancialmente una reactancia pura cuando las pérdidas en la misma son bajas.

Los circuitos con líneas se utilizan en amplificadores de RF -ultra alta frecuencia; UHF para adaptar las impedancias de entrada y salida de los transistores, y en circuitos de filtros pasa-banda y rechaza-banda, en especial.

Líneas de media longitud de onda

Cuando la longitud de una línea es un múlti-

plo de 90° (o de media longitud de onda), la resistencia de entrada es igual a la resistencia de carga.

Es un hecho que una línea de un múltiplo exacto de media longitud de onda (despreciando las pérdidas en la línea) simplemente repite, a la entrada o envía al final, la impedancia que existe a su salida o que recibe. Ya sea una resistencia, una reactancia o una combinación de ambas.

Transformación de impedancia con líneas de cuarto de longitud de onda

La impedancia de entrada de una línea de un múltiplo impar de un cuarto de longitud de onda es:

$$Z_S = \frac{Z_0^2}{Z_R}$$

Donde:

- Z_S es la impedancia de entrada.
- Z_R es la impedancia de carga.

Si Z_R es una resistencia pura, Z_S también es una resistencia pura.

Reorganizando esta ecuación, nos da:

$$Z_0 = \sqrt{Z_S \cdot Z_R}$$

Esto significa que, si tenemos dos valores de impedancia que deseamos "adaptar", podemos hacerlo si los conectamos juntos con una línea de transmisión de cuarto de longitud de onda, teniendo una impedancia característica igual a la raíz cuadrada de sus productos.

Una línea de cuarto de longitud de onda es, en realidad, un transformador. Éste se usa a menudo como una antena de trabajo donde se desea, por ejemplo, transformar la impedancia de una antena a un nuevo valor que adapte a la línea de transmisión dada.

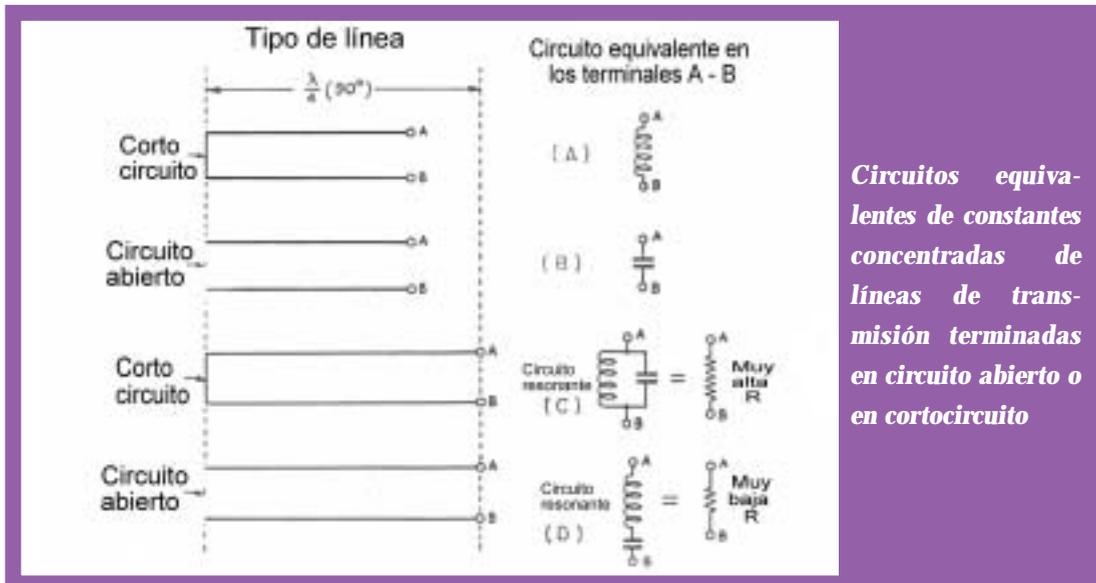
Líneas como elementos de circuitos

Líneas en circuito abierto o en cortocircuito no envían potencia a la carga y, por esa razón, no son, estrictamente hablando, una "línea de transmisión".

Sin embargo, el hecho de que una línea de longitud proporcional tenga una reactancia inductiva, hace posible sustituirla por una bobina (inductor) en un circuito común. Del mismo modo, una línea de longitud adecuada se puede sustituir por un capacitor.

Las secciones de línea usadas como elementos de circuitos son, comúnmente, de cuarto de longitud de onda o más cortas.

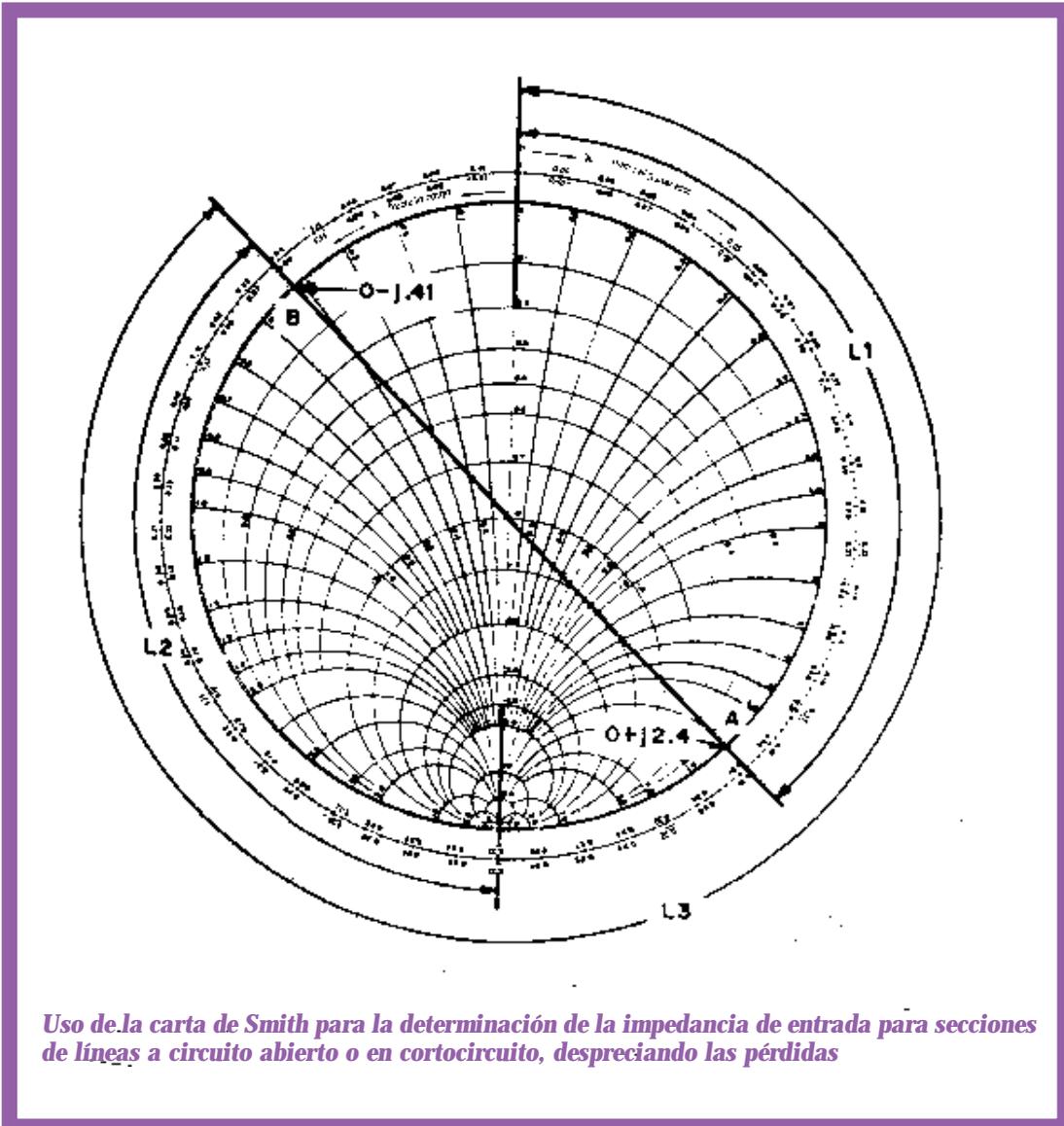
El tipo de reactancia deseado (inductivo o capacitivo) o el tipo de resonancia deseada (serie o paralelo) se obtiene cortocircuitando o dejando abierto el final de la línea.



Cuando una sección de línea es usada como reactancia, la cantidad de reactancia está determinada por la impedancia característica y la longitud eléctrica de la línea. El tipo de reactancia mostrada en los terminales de entrada de una línea de una longitud determinada depende de la forma en que esté ter-

minada (cortocircuito o circuito abierto).

El valor concentrado equivalente para un inductor o capacitor se puede determinar con la ayuda de la carta de Smith. Las líneas con pérdidas se pueden diseñar como se explicó en el punto anterior y como se ilustra aquí:



Recordemos que la mitad derecha de la carta se usa para impedancias que tienen reactancia inductiva y la mitad izquierda para reactancias capacitivas.

Por ejemplo, una sección de línea de 600 ohm y $3/16$ longitudes de onda (0.1875λ) cortocircuitada en su extremo, se representa con L_1 y se dibuja cerca de la porción perimetral de la carta. La "carga" es un cortocircuito, $0+j0$ ohm, y se usa la escala de longitudes de onda "hacia el generador" para definir el largo.

- En A, se puede leer la impedancia normalizada como $0+j2.4$. La reactancia es, ahora, inductiva, igual a $600 \times 2.4 = 1440$ ohm. La misma línea a circuito abierto (terminada en impedancia ∞ , en la parte inferior de la carta) está representada por L_2 .
- En B, la impedancia de entrada normalizada es $0-j0.41$; la reactancia aquí es capacitiva, $600 \times 0.41 = 246$ ohm. (Línea con pérdidas despreciables en este ejemplo).

En la figura es fácil visualizar que:

- Si L_1 se extendiera por un cuarto de longitud de onda, representado por L_3 , la impedancia de entrada a la línea podría ser la misma que la obtenida en el caso representado por l_2 sola.
- En el caso de L_2 , la línea está terminada en un circuito abierto.
- Pero, en el caso de L_3 , la línea está terminada en un corto. El agregado de un

cuarto de longitud de onda de la línea a L_3 provee de la "acción del transformador" que ya hemos explicado.

La inductancia y la capacitancia equivalentes se encuentran sustituyendo esos valores en las fórmulas que relacionan inductancia y capacitancia con reactancia, o usando cartas y cálculos disponibles. También se usa la frecuencia correspondiente a la longitud de línea en grados. En el ejemplo, si la frecuencia es 14 MHz, la inductancia y capacitancia equivalentes en los dos casos es $16.4 \mu\text{H}$ y 46.2 pF , respectivamente.

Cuando la longitud de la línea es 45 grados (0.125 longitud de onda), la reactancia en ambos casos es numéricamente igual a la impedancia característica de la línea. Al usar la carta de Smith, hay que tener en cuenta que la longitud eléctrica de una sección de línea depende de la frecuencia y de la velocidad de propagación, tanto como la longitud física de la línea.

En el caso de líneas sin pérdidas o con bajas pérdidas, son pequeñas. La reactancia inductiva de una línea cortocircuitada de menor longitud que un cuarto de onda es:

$$X_L \text{ (ohm)} = Z_0 \tan l$$

Donde:

- l es la longitud eléctrica de la línea en grados.
- Z_0 es la impedancia característica de la línea.

La reactancia capacitiva de una línea a cir-

cuito abierto menor que un cuarto de longitud de onda es:

$$X_C \text{ (ohm)} = Z_0 \cot l$$

A longitudes de línea que sean exactamente múltiplos de cuarto de onda, las líneas tienen las propiedades de un circuito resonante.

A longitudes donde la reactancia de entrada pasa por cero en el punto superior de la carta de Smith, la línea actúa como un **circuito resonante serie**, como mostramos en D de la pasada figura "Circuitos equivalentes de constantes concentradas de líneas de transmisión terminadas en circuito abierto o en cortocircuito".

A longitudes para las cuales la reactancia teóricamente pasa de infinito "positivo" a "negativo" en la parte inferior de la carta, la línea simula un **circuito resonante paralelo**, como en C de esa figura.

El Q efectivo (factor de mérito) de los circuitos resonantes es muy alto en una línea, si las pérdidas por radiación y por resistencia se mantienen bajas.

Esto se logra sin muchas dificultades en las líneas coaxiales y entre conductores aislados con aire. La aislación de aire en líneas de alambres abiertas tiene buen comportamiento a frecuencias para las cuales el espacio entre conductores es muy pequeño, en términos de longitud de onda.

Construcción de líneas y características de operación

Los dos tipos básicos de líneas de transmisión, de conductores paralelos y coaxial,

pueden construirse de varias formas.

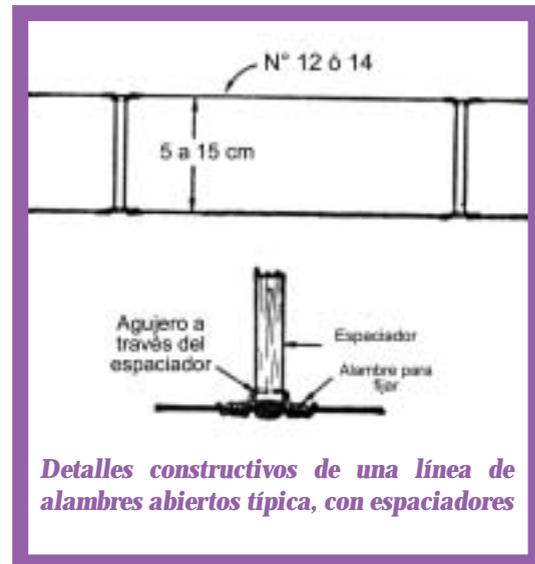
Ambos tipos se dividen en dos clases:

- aquellos en los que la aislación entre los conductores es aire y sólo un mínimo de dieléctrico sólido es necesario para un soporte mecánico;
- aquellos en los que los conductores están inmersos en un dieléctrico sólido.

La forma clásica (aislados por aire) tiene bajas pérdidas por unidad de longitud porque no hay potencia perdida en el aire seco y porque es bajo el efecto corona por la tensión entre conductores.

Líneas aisladas por aire

La construcción típica en líneas de transmisión es la de dos conductores paralelos o dos alambres aislados por aire.



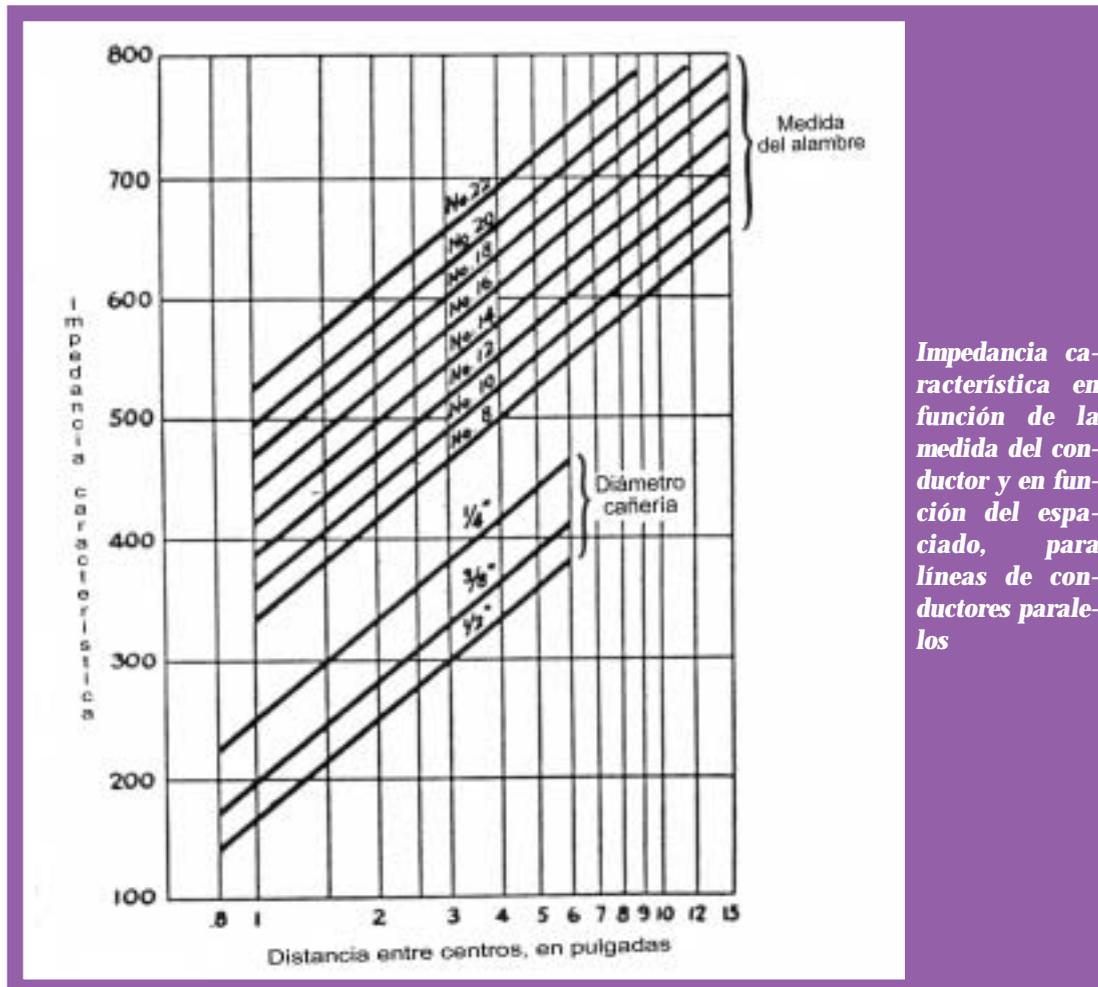
Detalles constructivos de una línea de alambres abiertos típica, con espaciadores

Los alambres están soportados a una distancia fija, separados por un aislante o "separador". Estos espaciadores están hechos de un aislante tal como un material fenólico, poliestireno, etc. Otra alternativa es el uso de líneas prefabricadas. Las líneas prefabricadas de alambres

Es necesario usarlos a pequeños intervalos para evitar que se modifique la distancia entre ellos con el viento u otro factor ambiental.

abiertos más conocidas son las usadas para conectar las antenas de televisión domiciliarias, con una impedancia característica de 300 ohm.

Los espaciadores, de bajas pérdidas, se moldean sobre los conductores para mantener constante la distancia entre ellos -en el ejemplo anterior, ½ pulgada-. El conductor es un cable N° 18. La impedancia de este tipo de líneas:



Impedancia característica en función de la medida del conductor y en función del espaciado, para líneas de conductores paralelos

Cuando en una línea aislada por aire se requiere una impedancia característica más baja, se usan tubos de metal con diámetros de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ pulgadas. Adecuando el largo del conductor, el diámetro y la distancia entre conductores, se pueden construir líneas con impedancias características relativamente bajas, como 200 ohm. Este tipo de dispositivos se usa para transformadores de adaptación de cuarto de onda.

La impedancia característica de una línea de alambres conductores paralelos aislados con aire, despreciando el efecto de los espaciadores aislantes, está dada por:

$$Z_0 = 276 \log \frac{b}{a}$$

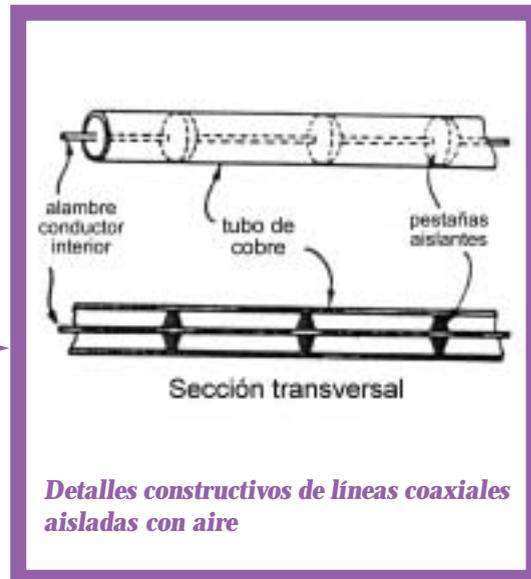
Donde:

- Z_0 es la impedancia característica.
- b es la distancia entre centros de los conductores (en pulgadas).
- a es el radio del conductor (en las mismas unidades que b).

Si no se cuenta con el diámetro de los conductores, pero se dispone el número normalizado, se puede usar la última tabla.

Líneas coaxiales

En una línea coaxial aislada por aire, una buena proporción de la aislación entre conductores puede ser un dieléctrico sólido, por la necesidad para mantener constante la separación entre el conductor interior y el exterior. Esto es particularmente adecuado en líneas de pequeño diámetro, con características como:



Detalles constructivos de líneas coaxiales aisladas con aire

El conductor interno es, normalmente, un alambre de cobre que está soportado por cuentas o pestañas aislantes que lo mantienen en el centro (eje) del tubo de cobre del conductor exterior. En general, estos espaciadores aislantes se sujetan -*crimpean*- al alambre para evitar el deslizamiento. El tipo y la cantidad de material de estos espaciadores afectan la impedancia característica de la línea.

La presencia de dieléctrico sólido incrementa las pérdidas en la línea, aunque una línea coaxial tiene, en general, bajas pérdidas.

En las líneas coaxiales aisladas por aire, la humedad incrementa notablemente las pérdidas. A frecuencias superiores a 100 Mhz, una línea coaxial tendrá bajas pérdidas si está provista de aire seco. Esto requiere sellar herméticamente tanto al final de la línea como en todo el largo. La impedancia característica de una línea coaxial aislada con aire está dada

por:

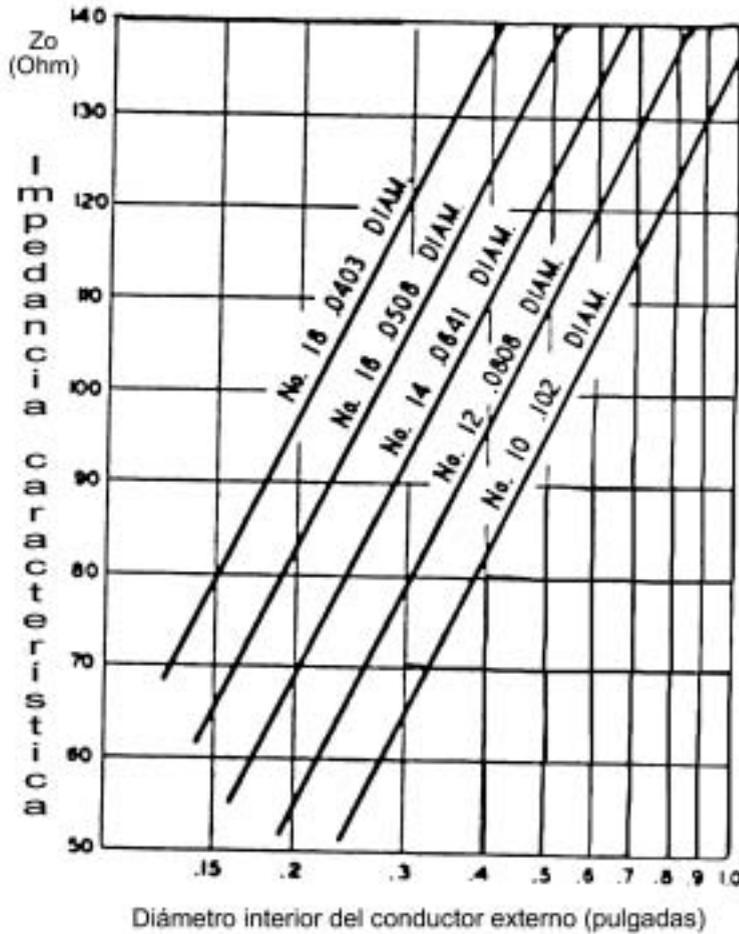
$$Z_0 = 138 \log \frac{b}{a}$$

- b es el diámetro interior del conductor exterior (en pulgadas).
- a es el diámetro exterior del conductor interno (en la misma unidad de b).

Donde:

- Z_0 es la impedancia característica.

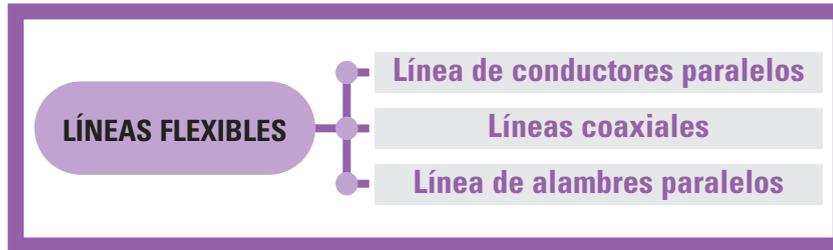
Las curvas para conductores típicos están representadas en:



Impedancia característica de líneas coaxiales aisladas con aire

La fórmula y las curvas para líneas coaxiales son aproximadamente correctas para aquéllas que no tienen los espaciadores demasiado próximos.

Líneas flexibles



Las líneas de transmisión en las cuales los conductores están separados por un dieléctrico flexible tienen algunas ventajas con respecto a los aislados con aire. Son menos voluminosos, más livianos y mantienen más constante el espaciado entre conductores. Por otra parte, su instalación es más fácil.

La principal desventaja de este tipo de líneas es que la potencia perdida por unidad de longitud es mayor que en las líneas aisladas por aire. Estas pérdidas calientan el dieléctrico y, si esta sobre elevación térmica es grande, debido a una potencia grande y a una ROE grande, la línea se deteriora tanto mecánica como eléctricamente.

Línea de conductores paralelos

En los tipos más comunes de 300 ohm los conductores son alambres retorcidos de sección transversal equivalente a un alambre N° 20 moldeados en una cinta de polietileno de unos 13 mm de ancho.

El dieléctrico efectivo es parte sólido y parte de aire. La presencia de dieléctrico sólido disminuye las características de impedancia de la línea, en comparación con los mismos conductores separados por aire. El hecho de que parte del campo entre los conductores

existe fuera del dieléctrico sólido lleva a una desventaja en la operación, ya que la tierra o humedad en la superficie de la cinta tienden a cambiar las características de la

impedancia. La operación de la línea es afectada, también, por las condiciones ambientales. El efecto no es muy notorio en líneas terminadas en su impedancia característica; pero, si hay una considerable ROE: Un pequeño cambio en la Z_0 puede causar fluctuaciones de la impedancia de entrada. Los efectos del tiempo pueden minimizarse con la limpieza de la línea y dando una cobertura fina de algún material repelente al agua, tal como siliconas grasas.

Para disminuir los efectos de la intemperie en las características de impedancia y la atenuación del tipo "cinta", se suele usar el par de conductores moldeados en un tubo de polietileno, ocupando posiciones diametralmente opuestas en las paredes de dicho tubo. Esto incrementa el derrame por la superficie del dieléctrico, disminuyendo la acumulación de tierra. Además, buena parte del campo eléctrico entre los conductores se establece en el hueco vacío del centro del tubo, y puede protegerse de la suciedad y los efectos de la intemperie cerrando los terminales expuestos del tubo con un cierre her-

mético. Este tipo de línea es impermeable a los efectos del agua.

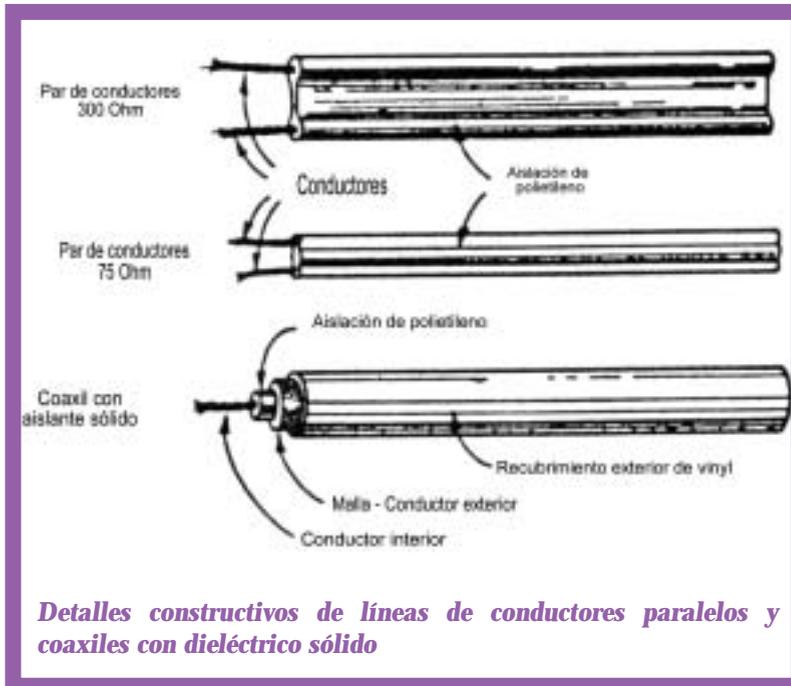
Es importante cuidar los detalles al instalar la línea, previendo una condensación de humedad en el interior debida a los cambios de temperatura, ya que el agua producida por la condensación escurre a la parte inferior del tubo y puede quedar retenida en una sección.

Este tipo de líneas se suele hacer con dos diámetros diferentes del tubo, para recepción y transmisión.

quedando una pequeña porción el aire circundante. La línea de 75 ohm es menos susceptible a los efectos de la intemperie que el tipo "cinta" de 300 ohm.

En resumen:

Además de los tipos de conductores paralelos descritos antes, están los pares de alambres de 150 y 75 ohm, que usan en recepción de antenas, ya que no tienen que transportar mucha potencia.



Líneas coaxiales

La forma constructiva básica de la línea coaxial está representada en la última figura. El diámetro exterior varia de unos 5 ó 6 mm hasta 25 mm, aproximadamente, dependiendo del requerimiento de potencia.

En algunos casos, el conductor interior es un cable (cabos retorcidos) y, en otros, es un alambre (conductor macizo). El conductor exterior, en algunos, es una malla

Para transmitir se usa la de 75 ohm de par de conductores de cable retorcido equivalente a un alambre sólido N° 12, con los conductores poco espaciados; de este modo, el campo se confina al dieléctrico sólido,

simple; en otros, doble; en ocasiones, está cubierto con una capa de plástico vinílico, aunque las características son diseñadas para que no acumule suciedad o humedad, más que por algún aspecto eléctrico.

El material dieléctrico utilizado en estos casos es polietileno, un plástico flexible que tiene bajas pérdidas en radio frecuencias. En algunos tipos de cables, como los de la serie RG, el dieléctrico es polietileno sólido.

Las pérdidas en un dieléctrico sólido son relativamente bajas, si la frecuencia de operación no es muy alta. En algunos tipos de cables, como el RG-62/U, se usa un filamento de polietileno bobinado alrededor del conductor central; esto hace una aislación parcial de aire, reduciendo tanto las pérdidas como la capacitancia por unidad de longitud.

Un dieléctrico muy usado es una espuma de polietileno que tiene una estructura similar a un nido de abeja, que deja una buena porción de aire en medio. Las pérdidas por unidad de longitud en estos cables son considerablemente menores que en el dieléctrico sólido. La espuma de polietileno puede albergar humedad, la cual incrementa la atenuación. Los cables coaxiales sólidos más

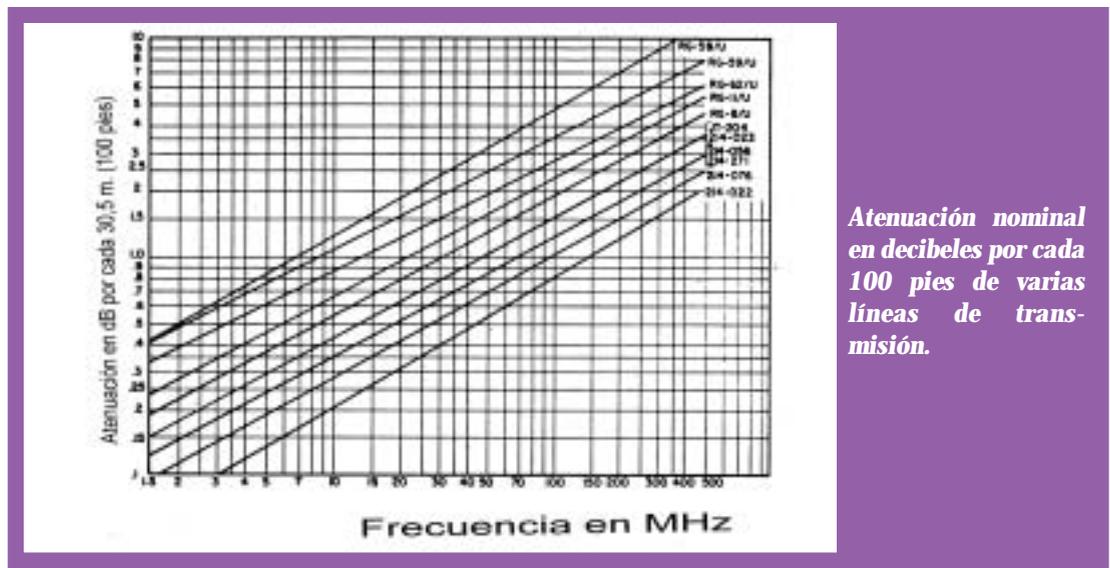
comunes están disponibles en dos impedancias características, 50 y 75 ohm.

Si el campo está confinado entre los conductores de una línea con dieléctrico sólido, como en el caso de líneas coaxiales, la impedancia característica de la línea se reduce en un factor $\frac{1}{\sqrt{k}}$, comparada con la impedancia de una línea aislada con aire que tenga las mismas dimensiones de conductores y espaciado.

La cantidad "k" es la constante dieléctrica efectiva del material aislante.

En líneas de conductores paralelos de tipo cinta o tubular y en coaxiales de tipos especiales, el campo se establece parcialmente en aire y otra parte en el dieléctrico; así, no se usa directamente el factor de reducción.

La atenuación y las otras características de varios tipos de líneas usadas comúnmente por aficionados:



Se dispone de varios conectores que se consiguen en el comercio para hacer desmontables los coaxiales flexibles.

Línea de alambres paralelos

Es necesario cuidar de la humedad, la nieve y el hielo a las instalaciones de líneas de alambres paralelos.

En construcciones familiares, se podría usar líneas aisladas con aire, siempre que los espaciadores sean impermeables a la humedad y que sean resistentes a los efectos de la exposición prolongada al sol.

Conducción en los gases



En el "Dispositivo para evaluar parámetros de líneas", se utiliza un tubo fluorescente para visualizar el fenómeno de la onda estacionaria, así como el efecto de corrimiento de nodos y "ceros" como consecuencia de modificar la carga, o de producir cortocircuitos u otras distorsiones a lo largo de la línea.

Por esto, interesa conocer cómo se produce la conducción en los gases, ya que ésta no responde a la ley de Ohm utilizada para estudiar o predecir fenómenos de conducción en metales o diversos materiales sólidos, cuya resistencia es aproximadamente constante.



El tubo fluorescente

Los gases no contienen cargas libres en ausencia de influencias exteriores, como los metales o los electrolitos.

Sin embargo, se pueden ionizar y convertirse en conductores. Para producir la ionización, es necesario separar uno o más electrones de las moléculas del gas, quedando el resto de la molécula como un ión positivo. Algunos de los electrones desprendidos pueden unirse a moléculas neutras, formando iones negativos o bien quedar como electrones libres.

Para ionizar una molécula, hay que entregarle energía de algún modo, como puede ser el choque con una molécula, ión o electrón que se mueva rápidamente o por la acción de un cuanto de radiación (fotón).

Los medios que se usan para producir la ionización se denominan agentes ionizantes y pueden ser los rayos cósmicos, la radioactividad, la emisión fotoeléctrica, los rayos X y la ionización por choque.

El choque es el principal medio para producir iones en dispositivos diseñados para producir conducción a través de un gas.

Los iones positivos y negativos, así como los electrones, pueden ser acelerados por el campo eléctrico que existe en un gas y adquirir energía suficiente para ionizar una molécula neutra en una colisión. Una corriente dentro de un gas se denomina descarga.

La descarga que se produce en los tubos de neón que, habitualmente, se usan en publicidades o en tubos fluorescentes para iluminar,

se llama **descarga luminiscente**.

Las descargas luminiscentes se producen a presiones de algunos milímetros de mercurio.

Cuando se somete un gas a una cierta diferencia de potencial eléctrico (tensión) crítica, la intensidad de corriente aumenta rápidamente y el gas del tubo se hace luminoso.

La luz emitida por una molécula de gas, al volver a su estado normal después de que uno de sus electrones exteriores ha sido separado o elevado a un nivel de energía más alto, es característica del gas que hay en el tubo y, en general, tiene una gran componente ultravioleta.

Las lámparas fluorescentes son tubos de descarga de gases cuyas paredes interiores están recubiertas con una sustancia que absorbe la luz ultravioleta y emite luz del espectro visible. El rendimiento luminoso de estas lámparas es superior al de las lámparas incandescentes.

Debido a que los átomos de un gas se mueven libremente en su seno y tienen una masa, pueden adquirir, transportar o almacenar energía cinética y potencial. La energía interna está ligada con los niveles de energía en los cuales se encuentran situados los electrones de los átomos.

No todos los electrones ocupan los mismos niveles de energía. Los que están situados en niveles de energía más bajos necesitan más energía para separarse del núcleo que los situados a niveles más altos. Un electrón que normalmente ocupa un nivel de energía W_1

puede desplazarse a otro nivel más alto W_2 , siempre que el átomo reciba una cantidad de energía $W_2 - W_1$, denominada cuanto de energía. Después de alcanzar el nivel W_2 , el electrón puede pasar a un nivel aún más alto, como el W_3 , con un cuanto adicional de energía. Este proceso en etapas también puede realizarse en una sola transición con un cuanto de energía $W_3 - W_1$. Las cantidades o cuantos de energía interna que un átomo puede absorber dependen de las diferencias de energía que existan entre los niveles de ese átomo, por lo que puede absorber determinadas cantidades de energía.

Los electrones del átomo tienen tendencia a ocupar los niveles de energía más bajos posibles. Las observaciones del espectro muestran que el número de electrones que puede existir en un nivel dado de energía en un determinado átomo es limitado:

- Cuando todos los electrones ocupan los lugares más bajos posibles, se dice que el átomo está en su **estado normal**.
- Cuando un átomo tiene uno o más de sus electrones situados en un nivel de energía superior al correspondiente al estado normal, se dice que está **excitado**.

Las energías requeridas para las transiciones del estado normal al excitado, se llaman energías de excitación y se expresan en electrón-volt.

En la mayoría de los átomos, el estado excitado dura unos 10^{-8} segundos y termina con el retorno espontáneo del electrón excitado a un nivel más bajo. Este paso va acompañado

de la liberación de un fotón (cuanto de radiación electromagnética o de luz), cuya energía es igual al cuanto correspondiente a la transición particular que el electrón efectúa. La radiación emitida puede estar o no en el espectro visible y tiene una frecuencia proporcional a la energía cedida por el átomo. La relación es:

$$f = \frac{\eta}{h}$$

Donde:

- η es la energía del cuanto.
- f es la frecuencia de la radiación.
- h es la constante de Plank.

La luz es emitida a frecuencias discretas que corresponden a las diferencias de energía de determinados valores del átomo y, por este motivo, cada átomo tiene su espectro característico.

Las frecuencias de las rayas que aparecen en el espectro pueden estar en regiones de rayos X, ultravioletas, visibles o infrarrojas.

Algunos átomos poseen ciertos niveles de energía, que pueden ser alcanzados por un electrón interno pero desde los que, aparentemente, no pueden retroceder al estado normal cediendo su energía en forma de un fotón. Un átomo así excitado se encuentra en un estado **metaestable**. Este átomo, generalmente, cede su energía a otro átomo del gas, o a las paredes o electrodos del recipiente. El tiempo que transcurre antes de que esta cesión tenga lugar -frecuentemente conocido como **vida** del átomo metaestable- puede ser

del orden de 0,1 segundo. Por esto, es posible que los átomos metaestables transporten su energía interna a distancias considerables antes de desprenderla, colaborando así a la conducción en los gases.

El proceso mediante el cual el electrón es separado completamente de un átomo se conoce como **ionización**. La mínima energía de ionización es la cantidad de energía que el átomo debe recibir para desprender los electrones más fácilmente separables. La parte del átomo que queda después de la separación del electrón es un ión positivo.

El ión tiene una masa levemente menor que la del átomo que le dio origen. Después de esta separación, ambas partículas pueden ser aceleradas por un campo eléctrico.

El oxígeno es un gas ávido de electrones por lo que, en gases donde se pretende tener una conducción por electrones, hay que cuidar de liberar al gas de oxígeno.

La línea de Lecher



En el "Dispositivo para evaluar parámetros de líneas" se utiliza un par de conductores paralelos, porque esta línea permite visualizar en forma directa los fenómenos de interferencia entre los campos electromagnéticos utilizando un tubo fluorescente.

Una alternativa que se fabrica comercialmente como "línea ranurada" es una línea coaxial donde los campos electromagnéticos quedan blindados por el conductor exterior de la línea coaxial.



Una Línea de Lecher es una línea de conductores paralelos cuya creación, alrededor de 1890, se atribuye al austríaco Ernst Lecher. Originalmente, se usó para la medición de ondas electromagnéticas y se supone que también contribuyó a la determinación de la velocidad de la luz.



Línea de Lecher construida en una caja contenedora. Debajo de los conductores paralelos está ubicado el tubo fluorescente encendido por zonas. Estas zonas iluminadas corresponden a regiones donde los campos electromagnéticos de la onda estacionaria presente en la línea son más intensos y mantienen la ionización.

La forma constructiva básica consiste en dos alambres o barras conductoras paralelas. Éstas conforman una línea de transmisión que guía las ondas y que permite observar varias situaciones cuyas conclusiones se pueden extender a condiciones reales.

Se analiza qué sucede en una línea de Lecher con el extremo abierto o bien en cortocircuito. En los extremos de la línea se reflejan las ondas, formándose ondas estacionarias. En el extremo abierto la corriente es nula; en el extremo cortocircuitado, la tensión es nula. La corriente y la tensión están

desplazadas entre sí en $\frac{1}{4}$ de longitud de onda; es decir, los valles de la tensión concuerdan con los nodos de la corriente. Éstas se miden a lo largo de la línea como una tensión que se propaga en forma de onda $U(x,t)$ o como corriente $I(x,t)$.

Una variante es cortocircuitar la salida y, en el otro extremo, colocar una señal acoplada inductiva o capacitivamente. Una barra deslizante que cortocircuita los conductores se puede desplazar a lo largo de la línea, mientras se enciende una lámpara conectada entre ellos.



Se trata de ubicar las zonas de máxima energía y, para ello, se utiliza una lámpara que, a través de un elemento de captación, enciende con máximo brillo donde la energía es máxima.

Si se dispone de suficiente potencia, la lámpara brilla.

Se utiliza un pequeño bulbo de neón que suele ser más sensible que las lámparas de filamento o fluorescentes.

Cuando dos cortocircuitos están separados exactamente a media longitud de onda, el brillo es máximo.

Se produce una onda estacionaria y, desplazando la lámpara entre los conductores, muestra su distribución (forma) con la variación del brillo.



El punto de máximo brillo se llama antinodo y corresponde a un máximo de medio ciclo. Si la barra en corto está a una longitud de onda de separación, un mínimo o nodo se encuentra a mitad de camino entre dos antinodos.

Éste es un punto de cruce por cero de la forma de la onda (Queda claro que, actualmente, la longitud de onda se puede determinar por métodos más precisos).

Si se conoce la frecuencia, se puede determinar la velocidad de la luz.

No conviene conectar eléctricamente la lámpara, ya que actúa como una especie de cortocircuito que deforma la distribución de campos en la línea.

Lo que uno observa de esta experiencia es que:

Un cortocircuito a través de la línea causa una desadaptación de la impedancia. La onda se refleja.

Si encuentra otro cortocircuito, la onda se refleja nuevamente.

Si los dos cortocircuitos están a un número exacto de medias longitudes de onda, las ondas viajeras en cada dirección se suman, formando lo que se llama una onda estacionaria.

Si se modifica esta distancia, la onda se puede cancelar parcial o completamente.

No solamente la línea es una herramienta de medición, sino también forma un sistema selectivo de frecuencia con un muy alto Q (factor de mérito).

Una respuesta particular se obtiene en alguna frecuencia donde la media longitud de onda es un submúltiplo entero de la longitud

de la línea. Esto difiere de un circuito sintonizado "capacitor bobina", ya que la capacidad y la inductancia distribuida de la línea no inciden directamente en la selectividad de la frecuencia. En el caso de la línea, la inductancia (L) y capacitancia (C) determinan su impedancia característica, mientras que el largo de la línea es el que determina su frecuencia de resonancia.

Un circuito abierto en el extremo de la línea es también una desadaptación de impedancia, que causa reflexiones. Si ambos extremos de la línea están a circuito abierto, su resonancia fundamental corresponde a una longitud de onda de dos veces su longitud física.

Esto oscilará en esta longitud de onda en el circuito correspondiente.

Habíamos dicho que la longitud de la línea es la mitad de la longitud de onda, a una determinada frecuencia. A la mitad de esa frecuencia, la longitud de la línea representa un cuarto de longitud de onda. Las ondas reflejadas se cancelan exactamente, exhibiendo una baja impedancia a esa frecuencia. Y en frecuencias mayores o menores, la impedancia es mayor.

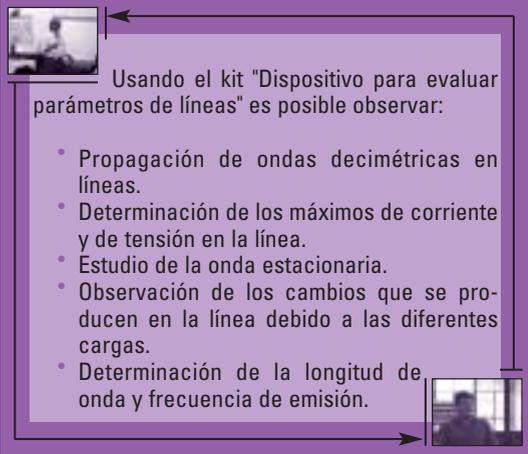
Este comportamiento recuerda lo que sucede en un circuito sintonizado serie; pero, la selectividad (Q) es mayor en el caso de la línea. Las dimensiones físicas lo hacen poco prácti-

En 100 MHz, la longitud de onda es 3 metros. La línea tendría que ser la mitad de ésta, o sea, 1,5 metros. La cuarta parte, o sea, 0,75 m requiere una implementación más dificultosa en alta frecuencia.

co para la sintonía excepto para frecuencias muy altas (VHF o mayores).

Otro experimento que se puede realizar consiste en conectar un segundo dipolo emisor (dipolo plegado de media longitud de onda) al extremo de la línea de Lecher. Sobre la misma línea de Lecher no se encuentran máximos de tensión ni de corriente. En el centro del dipolo se detecta un máximo de corriente, en los extremos del dipolo máximos de tensión.

Nos centraremos, ahora, en integrar estos contenidos¹ en la construcción de nuestro equipo.



Usando el kit "Dispositivo para evaluar parámetros de líneas" es posible observar:

- Propagación de ondas decimétricas en líneas.
- Determinación de los máximos de corriente y de tensión en la línea.
- Estudio de la onda estacionaria.
- Observación de los cambios que se producen en la línea debido a las diferentes cargas.
- Determinación de la longitud de onda y frecuencia de emisión.

¹Que pueden desarrollarse, consultando:

- Kraus, John D. 1988; 2° ed. *Antennas*. Mc Graw-Hill.
- Serway, Raymond A. 1997; 4° ed. *Física*. Tomo II. Mc Graw-Hill.
- Radio Society of Great Britain. 1983; 4° ed. *Vhf/uhf manual*. G. R. Jessop, Ceng. MIERE, G6JP.
- Alonso, Marcelo y Finn, Edward J. 1987. *Física*. Volumen II: Campos y ondas. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Terman, Frederick E. 4° ed. *Ingeniería electrónica y de radio*.
- Jonson, Richard C. 1993. *Antenna Engineering Handbook*. Mc Graw-Hill.
- *The Microwave Engineers Handbook*. Horizon House Inc.
- *ARRL Handbook for de Radio Amateur*. 1988. The American Radio Relay League.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo

El producto

El dispositivo para evaluar parámetros de líneas sirve para estudiar la propagación de ondas electromagnéticas en líneas de conductores paralelos (línea de Lecher), así como la adaptación de un sistema de transmisión entre el transmisor, la línea y la carga.



Dispositivo para evaluar parámetros de líneas

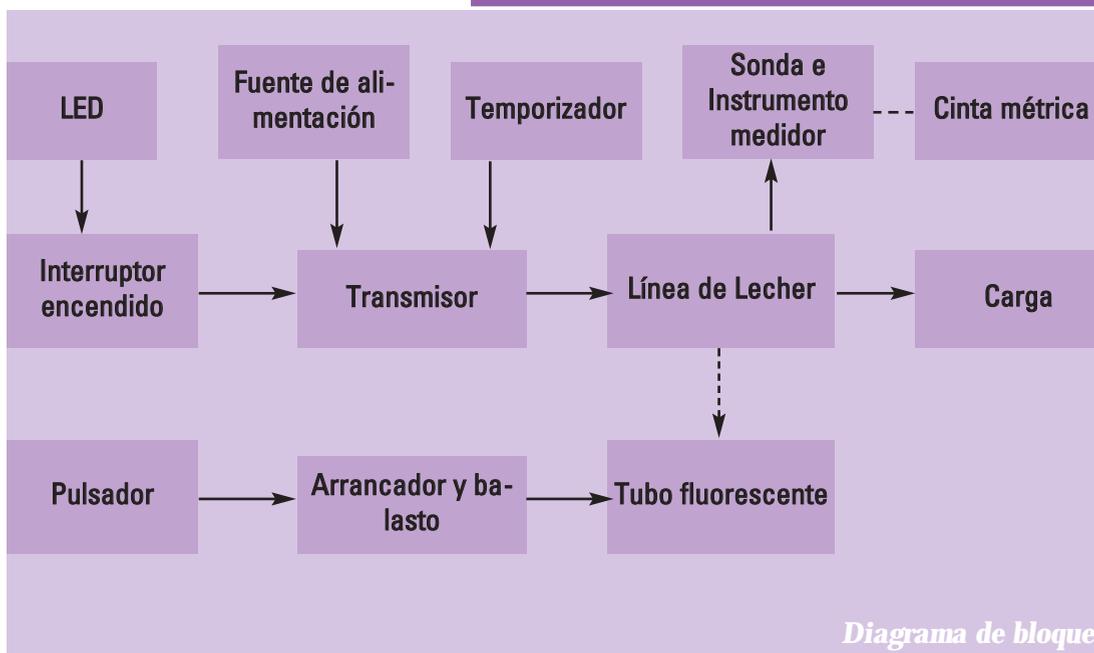


Diagrama de bloques

En este equipo, el emisor (transmisor) se puede reemplazar por un handy, ya sea para medir alguna de sus características, o para alimentar con distintas frecuencias la línea y/o antena.

El dipolo plegado enchufable, por su parte, trabaja como antena emisora y permite estudiar la adaptación al emisor.

Así, contando con el dispositivo para evaluar parámetros de líneas, los alumnos pueden averiguar la frecuencia que se está emitiendo en el generador por medio de la medición de la longitud de onda, observando la distancia entre nodos, ya sea cualitativa como cuantitativamente. Mientras la observación cualitativa es realizada con un tubo fluorescente, a través de la cuantitativa se pueden medir máximos y mínimos por medio de un multímetro y corroborar lo observado en el tubo.

Los componentes

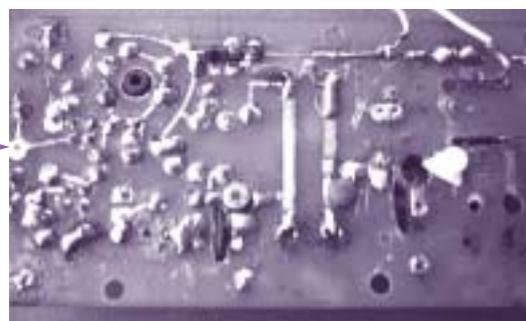
1. Oscilador o transmisor, emisor de ondas decimétricas



Diseño experimental

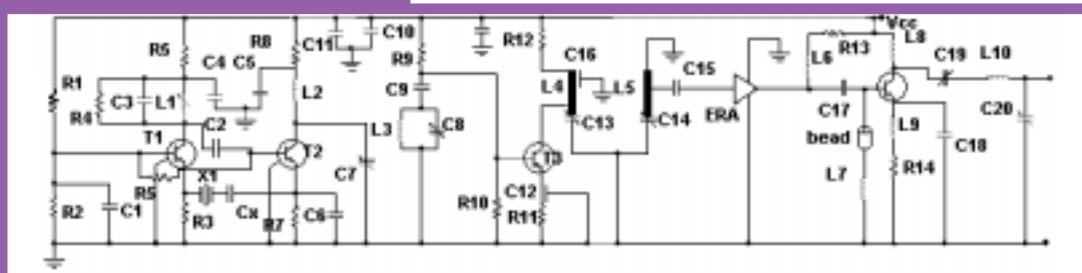


Vista próxima



Vista de atrás

Circuito del transmisor



2. Dipodos

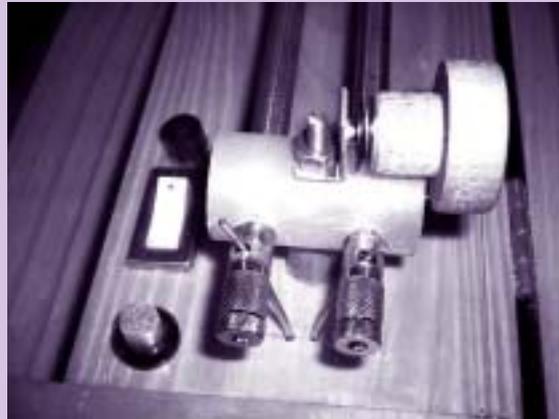


*Dipolos plegados:
de 300 ohm y de 200 ohm*



Gráfico del dipolo plegado de 300 ohm

3. Línea

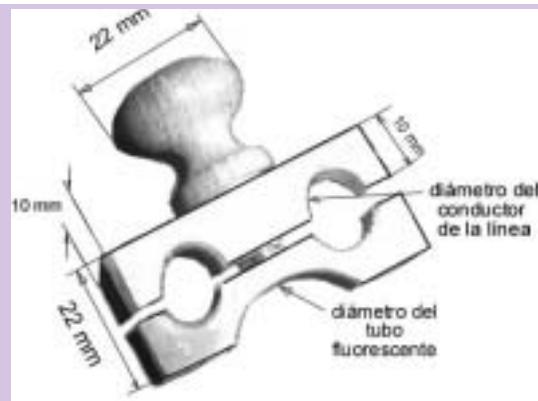


Vista de la caja del lado del generador

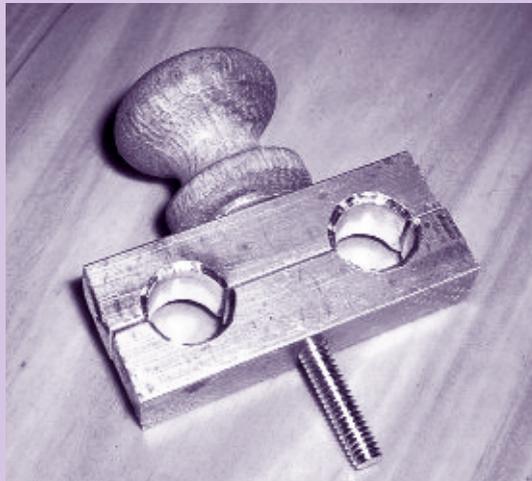
4. Cortocircuitador de la línea de Lecher



Cortocircuitador en la línea



*Dispositivo para cortocircuitar
la línea de Lecher*



Cortocircuitador en construcción



Cortocircuitador con rebaje para tubo fluorescente y resorte

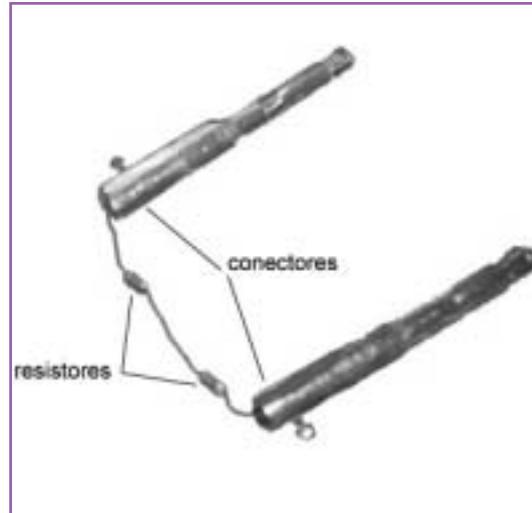
5. Fuente de alimentación

6. Tubo fluorescente para indicación visual cualitativa de nodos y antinodos



Prueba de funcionamiento del tubo fluorescente con el transmisor encendido

7. Resistencia de carga de la línea de Lecher



Resistencia de carga de 200 ohm implementada con dos resistores de 100 ohm cada uno, conectados en serie



Resistencia de carga de 200 ohm. Implementada con cinco resistores de 1000 ohm cada uno, conectados en paralelo con el objeto de disminuir el efecto inductivo

8. Impedancia de carga con componente reactiva capacitiva e inductiva



Cargas reactivas: a) Carga capacitiva



Cargas reactivas: b) Carga inductiva

9. Instrumento indicador de tensiones y corrientes



Microamperímetro

El instrumento es, básicamente, un microamperímetro, con varias escalas desde algunos microAmperes hasta unos 500 miliampere. Se puede, también, usar un voltímetro, con escalas del orden de los milivolt. Para la mayoría de las experiencias, se requiere sólo un indicador con un amplio rango en las escalas. Para medir ROE, es necesario medir valores máximo y mínimo, y hacer el cociente.

► Considere usted que es probable que sean muy dispares el máximo y el mínimo para los casos de fuerte desadaptación.

10. Lazo captor

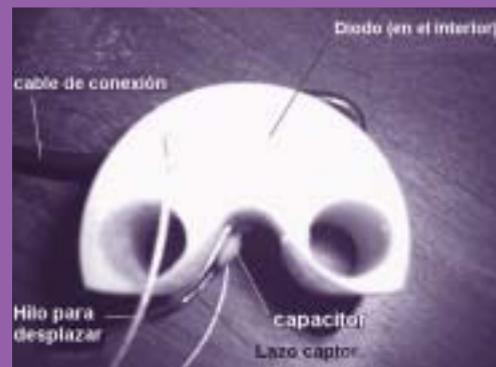
El lazo captor se ubica en un soporte aislante de grilón, donde también se coloca el diodo, para que la señal que llegue al instrumento sea, ya, una corriente continua. De esta manera, no se requiere blindaje para los cables que van al microamperímetro.

Al ser de material dieléctrico, el **soporte** produce una distorsión en la propagación de las ondas. El efecto es de un "acortamiento" de la línea. El factor por el cual se "acorta" la línea es $\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$ donde ϵ es la constante dieléctrica del material que se usa. En el grilón, este valor es próximo a 2; por tanto, la línea se acorta a un 70 % de su valor con aislante de aire.

Otro aspecto a considerar es el de compatibilizar un deslizamiento fácil con la estabilidad de las distancias del lazo a los conductores de la línea. Al hacer mediciones, este cuidado es imprescindible, ya que una variación de un milímetro en la ubicación de la sonda tiene efectos significativos sobre las lecturas. Al

tratarse de mediciones para trabajar con valores relativos (cocientes), no es importante el valor en sí sino la relación entre los valores. Esto significa que, una vez que se adoptó una posición para el lazo, se debe mantener a lo largo de toda la medición y de la longitud de la línea.

Es importante la posición del lazo en el soporte; por ello, es conveniente hacer el lazo de un conductor de cobre de un diámetro adecuado (1 mm o más) para que sea mecánicamente más rígido. Este lazo o espira de alambre de cobre forma un circuito resonante con un capacitor cerámico, a la frecuencia de trabajo.



Soporte del lazo captor o sonda

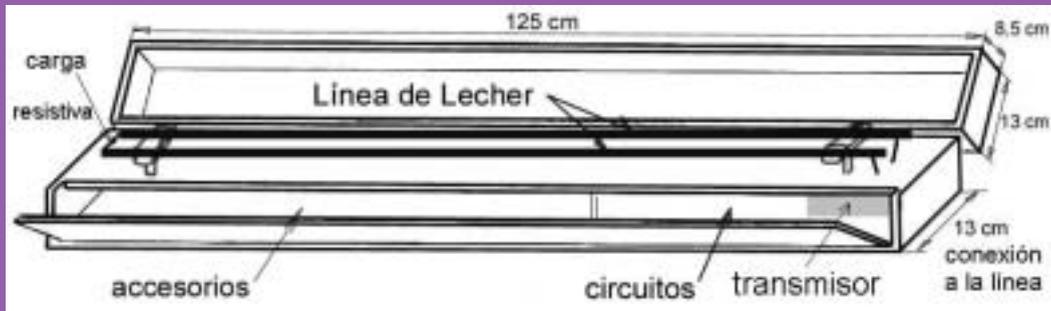


Ubicación del lazo captor en relación con el campo magnético

La caja tiene una base (o doble fondo) que contiene los circuitos y que dispone de un espacio libre para guardar los accesorios -las diversas impedancias de carga, dipolo plegado, cortocircuito y cables-. Esta parte se cierra con una tapa lateral que permite la apertura mientras se está operando con la línea. Sobre esta base se instalan los soportes del tubo fluorescente y los de los conductores de la línea de Lecher. Además, incluye una cinta graduada o centímetro, que facilita la ubicación y lectura de las distancias entre nodos. También están aquí los soportes del hilo que mueve la sonda.

11. Caja contenedora del equipo

Para proteger estos componentes, tiene una tapa para cubrirlos; ésta es tan profunda como la base, para que al abrirla quede apoyada sobre la mesa de trabajo a la misma altura.



Caja contenedora abierta



Caja entreabierta

12. Temporizador

Consideremos, ahora, los datos técnicos de estos componentes:

Oscilador, transmisor o emisor de ondas decimétricas:

Datos de servicio:

- Frecuencia: 420 MHz.
- Banda ISM -*Industrial, Scientific, Medical*- del rango UHF (ultra-alta).
- Longitud de onda: 71,4 cm.
- Tensión de operación: Fuente de alimentación de 12 V.
- Conexiones: Entrada de la tensión de operación.
- Salida para antena: Conector adaptado a la línea.
- Conexión balanceada entre la línea y el dipolo plegado.
- Conector de la línea a la resistencia de carga de 200 Ohm.

Datos generales:

- Caja: 125 cm x 13 cm x 17 cm. Peso total aproximado: 9 kg.

Dipolo plegado:

- Impedancia característica: 200 ohm.
- Conexión: Par de clavijas para conectar a la salida de la línea de Lecher.

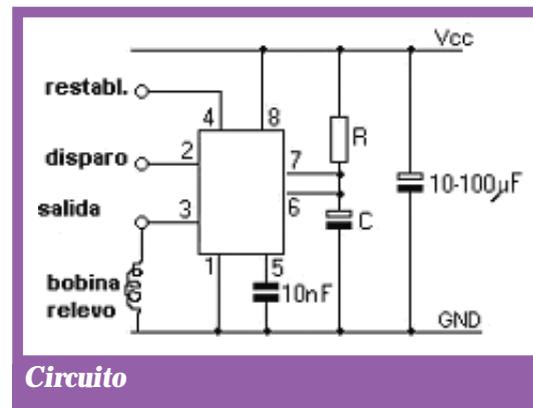
Cortocircuitos:

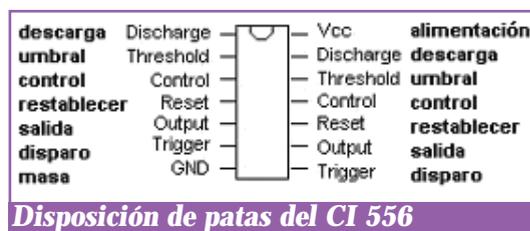
- Varillas de sección cuadrada de bronce con perilla de ajuste, y resorte para separación confiable y deslizamiento adecuado sobre los conductores paralelos.

- Tubo fluorescente de 30 W.
- Zócalos para soportar el tubo fluorescente.

Temporizador:

- Se provee un temporizador que permite tener el equipo encendido un tiempo prudencial para realizar las mediciones y observaciones y que, luego, desconecta automáticamente la fuente de energía. Esto permite, por un lado, no malgastar energía y, por otro, no estar irradiándola a la frecuencia de operación, lo que causaría interferencias en equipos próximos.
- El temporizador se puede realizar con diferentes circuitos; incluso, podría ser mecánico.
- En este equipo se utiliza un circuito integrado 556; pero, esto no es obligatorio, ya que se requiere sólo una parte del integrado -se podría haber realizado, igualmente, con un CI 555-; por ello se agrega la información sobre patas de ambos y el circuito, así como la forma de modificar la constante de tiempo o el tiempo de retardo.





Los materiales, herramientas e instrumentos

Componente	Características deseables	Alternativa
Soporte de línea Caja de madera. Ancho: 13 cm. Alto: 17 cm. Largo: 125 cm.	Rigidez mecánica. Aislante eléctrico. Sólido. Económico	Plástico.
Conectores	Fichas estándar.	Conexiones soldadas.
Sensor Multímetro con escala para medición de corrientes continuas del orden de los microamperes y escala de tensiones continuas.	Sensible para medir valores pequeños. Accesible. Económico.	Lámpara que enciende con valores muy bajos de tensión y corriente.
Diodo detector de señal	Permite hacer continua la señal para poder medirla con un téster o multímetro común.	
Pulsador	Estándar, común, robusto, para uso frecuente de los alumnos.	
Led y portaled	Led de alto rendimiento o muy llamativo. Portaled adecuado para colocar en la madera.	Prescindible.
Cinta métrica	Normal, de fácil lectura, autoadhesiva o plana.	Cinta métrica común o escala dibujada en la base.
Tubo fluorescente T8 Potencia: 30 W. Diámetro: 28.0 mm. Largo: 908.8 mm.	Delgado y de un largo acorde a la longitud de la línea.	
Interruptor	Confiable, común.	
Conductores paralelos de la línea	Caños de acero inoxidable de 9,5 mm de diámetro. Largo: 1200 mm. Separación: 26 mm.	Caños que se calculan según la fórmula dada, para conseguir la impedancia característica de la línea, Material: metal.

Componente	Características deseables	Alternativa
Soporte de línea	De grilón; con columnas cilíndricas de madera perforada para el paso de un tornillo o varilla roscada.	Teflón u otro aislante de bajas pérdidas dieléctricas.
Cortocircuitos ajustables o "cortocircuitador" Partes ajustables (mitades).	Varilla de sección cuadrada de bronce, para prevenir la corrosión por oxidación y facilitar la construcción de la rosca.	Varilla de metal conductor de buena conductividad, que une - mecánica y eléctricamente- las dos mitades.
Perilla para desplazamiento y ajuste del "cortocircuitador".	De aislante (madera), para facilitar el desplazamiento sin riesgos.	De cualquier aislante. Puede obviarse.
Resorte que separa las dos partes del "cortocircuitador" al aflojar la perilla.	Tiende a separar las mitades que ajustan la barra de cortocircuito a los conductores paralelos de la línea.	Puede obviarse.
Impedancias de carga	De diferentes valores que permiten ver el efecto de desplazamiento de máximos y mínimos.	
Conectores	Normalizados, para conectar en los terminales de la línea.	Cocodrilos u otros (se debe tratar de minimizar los efectos inductivos y capacitivos no deseados).
Pulsador	Permite comenzar la descarga en el gas y, luego, interrumpe la alimentación del tubo fluorescente.	Soporta la corriente de arranque del tubo fluorescente. (1 A o más).
Balasto o inductor	Adecuado a las características de tubo que se use.	
Arrancador del tubo fluorescente	Adecuado a las características de tubo que se use.	
Instrumento medidor	Microamperímetro o voltímetro (las respectivas escalas de un multímetro o tester).	Con escalas pequeñas y amplio rango.
Fuente de alimentación	Provee la energía del transmisor (corriente continua, regulada y estabilizada) y del tubo fluorescente (220 V-50 Hz).	Recomendación de apagado en un tiempo prudencial (5 minutos).
Temporizador	Evita tener encendido el transmisor innecesariamente.	Tornillos y sin encolar.
Separador de chapa que protege el equipo	Permite zonificar el espacio inferior de la caja y disponer de lugares específicos para los circuitos del equipo y para el guardado de accesorios.	
Clavos. Cola de carpintero	Para la caja de madera.	Prescindibles.
Cierres o trabas	Para la caja de madera (2 para la tapa de arriba y 2 para la del costado).	Prescindible.

Componente	Características deseables	Alternativa
Barnizado y terminación	Lijas, barniz o pintura.	Prescindible.
Tornillos de diferentes medidas y tipos	Para sujetar las partes (zócalo del tubo, soportes de la línea, plaquetas a la base de chapa, chapa a la caja, etc.).	Algunos se pueden reemplazar por pegamento.
Cables	De diferentes tipos: blindado coaxil -para conectar la sonda al medidor-, común bipolar -para la alimentación del equipo y el tubo-, alambre forrado -para conexiones en la plaqueta-.	
Poleas e hilo (tipo dial)	Para guiar el hilo que permite deslizar la sonda captora.	Prescindible. (Se pueden aprovechar sistemas de scanner).

El equipo se realiza con las herramientas de uso habitual en un taller de electrónica o en el taller de una escuela técnica o profesional. Sin embargo, en este caso en particular, se han hecho artesanalmente algunas partes que requieren de herramientas de uso menos frecuente, aunque dichas partes pueden ser reemplazadas, sin inconvenientes, por piezas compradas de uso común. Por ejemplo, si la caja de madera se reemplaza por una tabla que sirve de soporte, y se la compra del tamaño adecuado y con una terminación aceptable, no son necesarias herramientas para trabajar con maderas. Lo mismo sucede con los instrumentos.

Por tanto, citamos herramientas e instrumentos imprescindibles y prescindibles, por separado.

Herramientas imprescindibles:

- Destornilladores de distintas medidas (adecuados al tamaño y tipo de los tornillos que se usen).
- Pinza de puntas finas.
- Alicata de corte.
- Morza.

- Limas, lijas, mechas, machos.
- Sierras para cortar caños.
- Perforadora manual.
- Soldador.
- Escofina.
- SERRUCHO.

Herramientas prescindibles:

- Taladro de banco.
- Torno.
- Amoladora, completina.
- Cepillo para madera.
- Pelacables.
- Pincel.

Instrumentos imprescindibles:

- Multímetro o téster.
- Cinta métrica.

Instrumentos prescindibles:

- Frecuencímetro.
- Calibre.
- Analizador de espectro.
- Medidor de campo.

La construcción

Para la construcción del transmisor es muy importante recordar que tan sólo "la pata" de un componente que se mantenga con el largo que tiene inicialmente (de fábrica), se convierte en un inductor que presenta una reactancia no despreciable a esa frecuencia.

Como contraparte, diferencias de potencial separadas por distancias pequeñas de buenos dieléctricos, producen efectos capacitivos que, puestos en el camino de la señal, le ofrecen una reactancia capacitiva relevante. (o buenos caminos de descarga a masa, con la consiguiente pérdida de señal)

Por lo tanto, es necesario mantener las patas de los componentes cortas, pensar en buenos planos de masa y asegurar las soldaduras con buena adherencia. También es importante cuidar los blindajes. En este sentido, un buen diseño que separe las entradas de señal de las zonas donde se producen "ruidos" eléctricos puede ser suficiente. En caso de producirse realimentaciones o interferencias, es necesario blindar las zonas que manejen más potencia o generen "ruidos".

Recordamos que los campos decrecen con el cuadrado de la distancia a la fuente productora.

El armado

Las partes se arman por separado y, luego, se ensamblan.

- Caja o soporte.

- Oscilador / transmisor.
- Temporizador.
- Sistema de encendido del tubo fluorescente.
- Sistema para desplazar la sonda captora.
- Separador de chapa para sostener los circuitos del equipo.
- Separadores aislantes para sostener la línea de Lecher y soportar el tubo fluorescente.
- Accesorios.

El procedimiento que recomendamos para el armado:

1. Diagramación de la distribución de partes en el soporte o caja.
2. Perforación de agujeros para pasar cables, instalar interruptores, pulsadores e indicadores -si se usaran-. Se sugiere el perforado con una mecha fina en los lugares donde se atornillarán partes como los soportes de sujeción de los conductores paralelos de la línea de Lecher y los soportes para el tubo fluorescente.
3. Instalación del tubo fluorescente.
4. Instalación de la línea.
5. Instalación del sistema para desplazar la sonda.
6. Cableado de partes.
7. Colocación de la cinta métrica.

El ensayo y el control

Para la puesta en funcionamiento del

oscilador:

- Conecte la línea de Lecher a la salida.
- Conecte la tensión de alimentación a la entrada de la fuente a la red y enciéndalo.
- Deslice el instrumento medidor, y registre los máximos y los mínimos.
- Cambie las cargas y observe los nuevos valores. Registre e interprete.
- Provoque situaciones diferentes, dejando la línea a circuito abierto o deslizando el cortocircuito.

Para el empleo de la línea con el tubo fluorescente:

- Conecte la carga con la que desee hacer el análisis u observación.
- Encienda el oscilador conectado a la línea de Lecher.
- Presione el pulsador para el encendido del tubo fluorescente y suéltelo.
- Registre las zonas de máxima intensidad luminosa, observando los valores en la escala graduada en centímetros.
- Realice las operaciones que le permitan interpretar lo que está observando; por ejemplo, medir la mitad de la longitud de onda y comparar con la frecuencia.

Para el empleo de la línea cargada con el dipolo plegado:

- Observe la carga que representa el dipolo, cualitativamente, utilizando el tubo

fluorescente.

- Mida valores con el multímetro a lo largo de la línea, registre lo medido e interprete los datos.

Una forma de evaluar y controlar el funcionamiento es cargando a la línea con tres impedancias que tienen efectos particulares en el funcionamiento del sistema en su conjunto.

Éstas son:

- **Terminar la línea en un circuito abierto.** Éste es el caso más simple. Sin embargo, si queremos medir exactamente la distancia desde la terminación de la línea en un circuito abierto -por ejemplo, de $\frac{1}{2}$ longitud de onda-, debemos considerar que el soporte aislante de la línea produce una pequeña distorsión -la longitud de onda cambia en un sólido dieléctrico-.
- **Terminarla en un cortocircuito.** Cualquier conductor (puente) que se interpone entre los conductores de la línea tiene una inductancia. A este efecto, se puede sumar un contacto defectuoso que produce una caída óhmica en el punto de contacto.
- **Cargarla con una impedancia puramente resistiva, de valor igual a la impedancia característica de la línea.** Éste es el caso más complejo; cuesta mucho construir una carga puramente resistiva a esa frecuencia, que cruce la distancia que separa a los conductores de la línea. Los efectos reactivos no son despreciables a la frecuencia de operación por lo que, difícilmente, se puede conseguir esta situación en la práctica.

Dispositivo para evaluar parámetros de líneas Pruebas de funcionamiento

1 Pruebe si enciende el tubo fluorescente.

2 Pruebe si funciona el oscilador del transmisor.

- Si dispone de un frecuencímetro, mida la frecuencia del transmisor.
- Si no dispone del frecuencímetro, conecte el transmisor a la línea de Lecher y mida las tensiones sobre la línea, o las corrientes con el lazo y el diodo detector.
- Otro camino: Encienda el tubo fluorescente; luego, interrumpa el suministro de energía (corte la corriente soltando el pulsador) y perciba si se forman nodos y antinodos (zonas encendidas y zonas oscuras en el tubo). Esto le indica que el transmisor funciona. (*)

3 Pruebe el retardo de tiempo que provee el temporizador.

4 Pruebe la sonda captora.
- Para esto, conecte el instrumento como microamperímetro y desplace la sonda a lo largo de la línea (con el transmisor encendido), para observar máximos y mínimos.

5 Pruebe el sistema de desplazamiento de la sonda.

(*) Si interrumpió el suministro de energía al tubo fluorescente y éste se mantiene encendido, es porque la energía de los campos electromagnéticos soportados por la línea de Lecher mantienen la ionización del tubo.

La superación de dificultades

Cuide las dimensiones geométricas de la línea

Es muy importante cuidar las dimensiones geométricas de la línea de Lecher.

Esto asegura el valor de la impedancia característica de la línea (y la constancia de este valor).

También es importante asegurar la estabilidad de la distancia entre conductores.

El largo de la línea no influye en las observaciones. Elegimos ese largo para que se formen 2 o 3 nodos a la frecuencia del transmisor; si se trabaja a mayor frecuencia, se puede acortar la línea, pero aumentan los problemas de irradiación. A menor frecuencia, habrá que alargar la línea para poder detectar varios nodos.

Determine la distancia entre la línea y el tubo fluorescente

Si la distancia entre la línea y el tubo fluorescente es grande, la energía irradiada por la línea no alcanza a mantener la ionización en el tubo fluorescente.

Si la distancia entre la línea y el tubo fluorescente es muy pequeña y, al mismo tiempo, es grande la potencia del transmisor, los pozos

(zonas oscuras) son muy tenues y queda muy imprecisa la zona de máximos.

Es muy importante la ubicación del lazo captor de señal para realizar mediciones

Si se quiere sensar una corriente que se induce en el lazo, éste se debe ubicar de forma tal que concatene la mayor cantidad posible de líneas del campo magnético.

Las líneas de campo magnético rodean a cada conductor de la línea de Lecher en caminos cerrados ubicados en planos perpendiculares a la dirección de la línea. Si el lazo captor se ubica en el plano paralelo entre los conductores de la línea, equidistante de ambos conductores, la captación es ínfima.

¡Muy importante! Cuando el tubo fluorescente se ilumina por acción de la energía que le transfiere la línea, se convierte en una antena de plasma que, a su vez, irradia energía y modifica los valores medidos con respecto a las mediciones con el tubo apagado.

Información anexa

Supongamos que se dispone de una potencia P a irradiar mediante un dipolo.

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = 70 \cdot I^2$$

El dipolo abierto simple tiene una impedancia de 70Ω , por lo que, al agregar un conductor paralelo, formando un dipolo plegado, la corriente se divide en dos ramas; por lo tanto, ahora es la mitad.

Como la potencia de un dipolo simple y de un dipolo plegable son iguales, entonces:

$$70 \cdot I^2 = R \cdot \left(\frac{I}{2}\right)^2$$

$$70 \cdot I^2 = R \cdot \frac{I^2}{4}$$

$$R = 70 \cdot 4 \Omega \Rightarrow Z_d \cong 300 \Omega$$

Esto muestra que un dipolo plegado con conductores del mismo diámetro tiene una impedancia característica de, aproximadamente, 300 ohm.

La línea de Lecher del equipo tiene una impedancia característica de 200 ohm, dada por el diámetro y por la separación de los conductores que la componen.

Si se quisiera hacer un dipolo plegado de 200 ohm, para que haya máxima transferencia de potencia en esa línea, habría que modificar el diámetro y la distancia entre conductores del dipolo.

Para ello se puede usar el gráfico de la figura¹ que sigue:

¹ Jonson, Richard C. (1993) *Antenna Engineering Handbook*. Tirad Edition. Mc Graw-Hill.

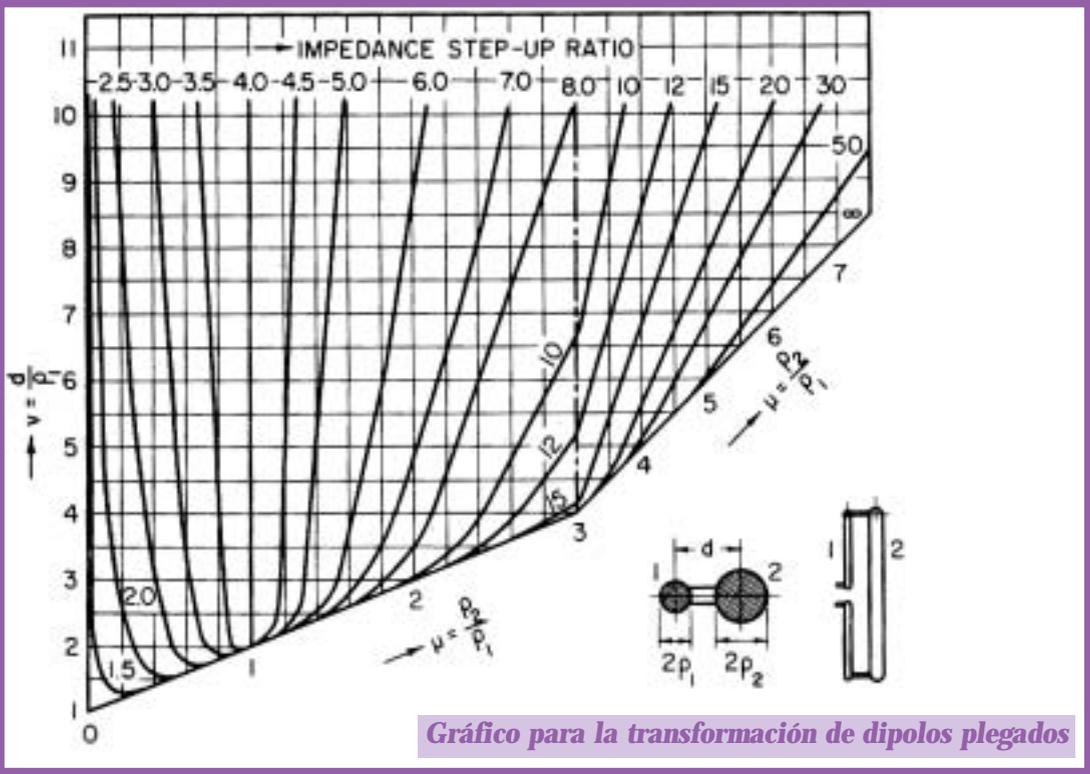


Gráfico para la transformación de dipolos plegados

La relación de pasos de impedancia $(1 + \alpha)^2$ como una función de μ y v fue calculada por Mushiake.

multímetro analógico -de uso común entre los estudiantes-.

Cuando ρ_1 y ρ_2 son pequeños comparados con d , puede obtener una buena aproximación mediante la siguiente expresión (que fue encontrada por primera vez por Welter):

$$a = \frac{\ln\left(\frac{d}{\rho_1}\right)}{\ln\left(\frac{d}{\rho_2}\right)}$$

Mediciones utilizando el equipo

Durante los ensayos se tomaron lecturas de tensión y de corriente utilizando un

Escala utilizada			
Tensión		Intensidad de corriente	
Fondo de escala	Menor división	Fondo de escala	Menor división
10 V	0,2 V	25 mA	0,5 mA
2,5 V	0,05 V	2,5 mA	0,05 mA
0,5 V	0,01 V	50 μ A	0,1 μ A
0,1 V	2 mV		

Tuvimos en cuenta que el error asociado a la lectura no está dado sólo por la menor división que se puede observar sino que, al desplazar la sonda, a veces, ésta se aproxima más a un conductor de la línea y varía levemente la lectura. Esto está relacionado con la precisión con que se construyó el soporte de la sonda.

Si el soporte se ajusta más a los conductores, mejoran las lecturas; pero, es más incómodo desplazarlo.

Se presenta a continuación una serie de datos obtenidos de mediciones realizadas con el equipo, que muestran todas las irregularidades y desviaciones de los valores teóricos ideales.

Para minimizar errores, conviene leer valores entre dos mínimos o dos máximos consecutivos; si se pretende medir entre un mínimo y el máximo adyacente -o viceversa-, el error es mayor por la deformación de la onda.

Se puede calcular la ROE de un gráfico, trazando dos líneas -una por los valores máximos y otra por los mínimos-, leyendo los valores correspondientes de ordenadas y, luego, haciendo el cociente.

Los gráficos fueron realizados con las mediciones que figuran en las tablas.

Tablas de valores

Impedancias			
Distancia	Capacitor	Inductor	Resistor
cm	volt	volt	volt
8		0,60	1,35
10		0,40	1,40
12		0,15	1,20
14	4,60	0,00	1,20

16	4,40	0,00	1,15
18	4,00	0,00	1,05
20	3,00	0,16	0,95
22	1,50	0,42	0,85
24	0,60	1,00	0,85
26	0,25	1,50	0,90
28	0,70	1,80	0,95
30	1,10	2,20	1,05
32	1,60	2,40	1,10
34	1,80	2,20	1,15
36	2,30	1,60	1,20
38	2,90	1,40	1,20
40	3,20	1,20	1,25
42	3,60	0,70	1,25
44	4,00	0,24	1,20
46	4,20	0,01	1,20
48	4,20	0,00	1,15
50	4,00	0,00	1,05
52	3,50	0,00	0,95
54	3,00	0,10	0,90
56	2,00	0,50	0,85
58	0,80	1,00	0,80
60	0,55	1,40	0,80
62	0,90	1,60	0,85
64	1,35	1,80	1,00
66	1,55	2,00	1,00
68	1,70	1,90	1,00
70	2,05	1,70	1,10
72	2,50	1,40	1,15
74	3,00	1,00	1,20
76	3,40	0,75	1,35
78	3,60	0,26	1,35
80	4,00	0,03	1,40
82	4,20	0,00	1,35
84	4,50	0,00	1,30
86	4,10	0,00	1,20
88	3,60	0,02	1,00
90	2,50	0,30	0,90
92	1,40	0,80	0,80
94	0,50	1,20	0,80
96	0,65	1,50	0,85
98	1,00	1,80	0,85
100	1,20	2,00	0,80
102	1,40	1,80	0,80
104	1,75	1,80	0,95
106	2,20	1,60	1,10
108	2,80	1,30	1,20
110	3,30	1,00	1,30
112	3,80	0,60	1,40
114	4,40	0,40	1,50

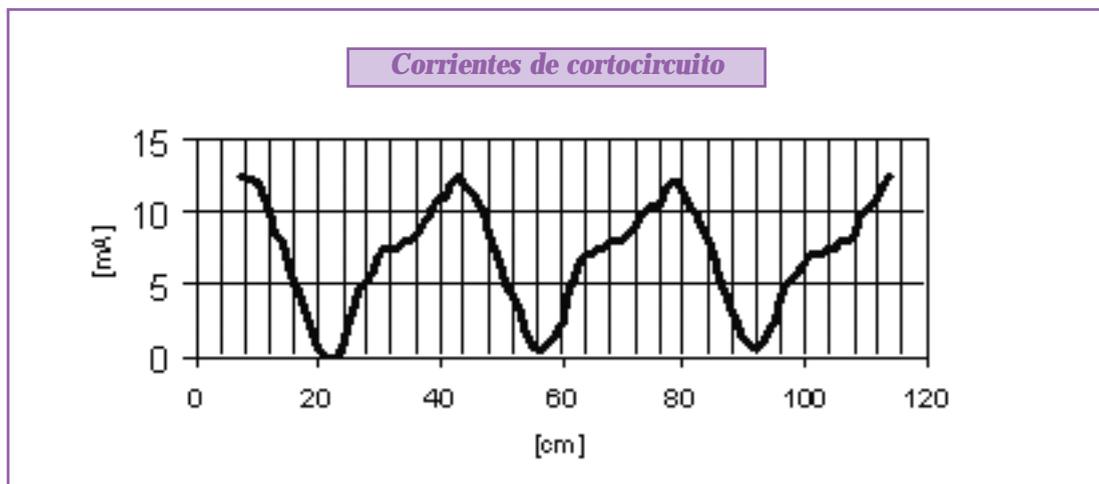
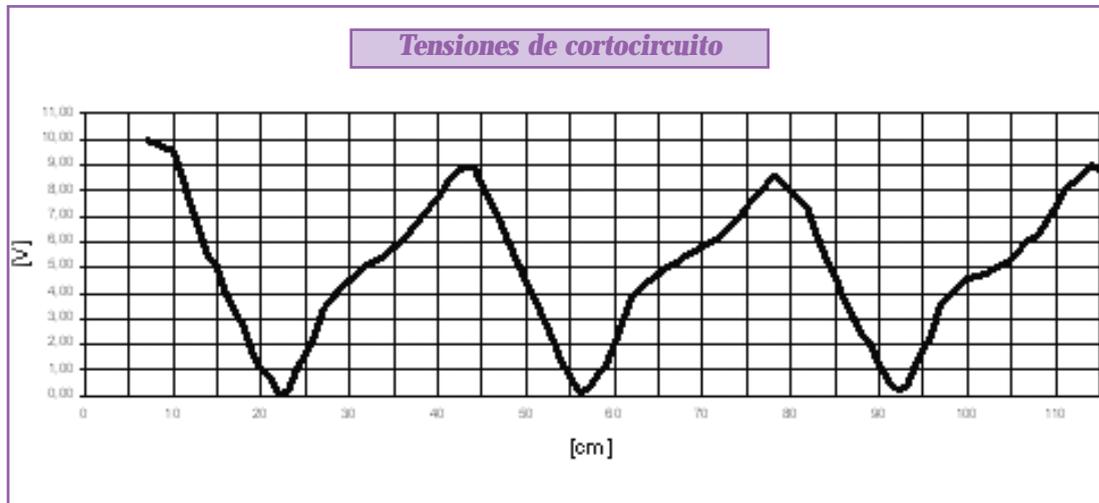
Línea terminada en cortocircuito				
Ensayo en cortocircuito				
Corriente	Escala	Distancia	Tensión	Escala
12,50	25 mA	7	10,00	10 V
12,00	"	10	9,50	"
11,00	"	11	8,50	"
10,00	"	12	7,50	"
8,50	"	13	6,50	"
8,00	"	14	5,50	"
7,00	"	15	5,00	"
5,00	"	16	4,00	"
4,50	"	17	3,30	"
3,50	"	18	2,60	"
1,75	2,5 mA	19	1,60	2,5 V
0,70	"	20	1,00	"
0,02	"	21	0,75	"
0,00	50 μ A	22	0,05	0.1 V
0,05	"	23	0,20	0,5 V
1,10	2,5 mA	24	1,00	2,5 V
1,90	"	25	1,70	"
3,80	25 mA	26	2,40	"
4,90	"	27	3,40	10 V
5,00	"	28	3,80	"
6,00	"	29	4,20	"
7,00	"	30	4,50	"
7,50	"	31	4,80	"
7,50	"	32	5,10	"
7,50	"	33	5,30	"
8,00	"	34	5,50	"
8,00	"	35	5,85	"
8,50	"	36	6,10	"
9,00	"	37	6,40	"
9,50	"	38	6,90	"
10,50	"	39	7,30	"
11,00	"	40	7,70	"
11,00	"	41	8,30	"
12,00	"	42	8,70	"
12,50	"	43	8,90	"
12,00	"	44	8,90	"
11,50	"	45	8,30	"
11,00	"	46	7,60	"
10,00	"	47	6,90	"
8,50	"	48	6,00	"
7,50	"	49	5,20	"
6,00	"	50	4,40	"
5,00	"	51	3,70	"
4,00	"	52	2,90	"
3,00	"	53	2,10	"
2,00	"	54	1,40	"
0,80	2,5 mA	55	0,80	"
0,40	"	56	0,18	0,5 V
0,45	"	57	0,28	"
0,80	"	58	0,80	2,5 V
1,55	"	59	1,25	"
2,50	"	60	2,10	"

Corriente	Escala	Distancia	Tensión	Escala
4,00	25 mA	61	3,10	10 V
5,50	"	62	3,80	"
6,50	"	63	4,20	"
7,00	"	64	4,50	"
7,00	"	65	4,80	"
7,50	"	66	5,00	"
7,50	"	67	5,20	"
8,00	"	68	5,50	"
8,00	"	69	5,60	"
8,00	"	70	5,80	"
8,50	"	71	6,00	"
9,00	"	72	6,20	"
9,50	"	73	6,60	"
10,00	"	74	6,90	"
10,50	"	75	7,40	"
10,50	"	76	7,80	"
11,50	"	77	8,20	"
12,00	"	78	8,60	"
12,00	"	79	8,40	"
11,50	"	80	7,90	"
10,50	"	81	7,70	"
10,00	"	82	7,20	"
9,00	"	83	6,20	"
8,00	"	84	5,30	"
7,00	"	85	4,60	"
5,50	"	86	3,90	"
4,50	"	87	3,20	"
3,00	"	88	2,50	"
2,40	"	89	2,00	"
1,20	2,5 mA	90	1,20	2,5 V
0,75	"	91	0,65	"
0,45	"	92	0,25	"
0,75	"	93	0,32	0,5 V
1,60	"	94	1,20	2,5 V
2,50	"	95	1,80	"
4,00	25 mA	96	2,40	"
5,00	"	97	3,60	10 V
5,50	"	98	3,90	"
6,00	"	99	4,20	"
6,50	"	100	4,60	"
7,00	"	101	4,70	"
7,00	"	102	4,80	"
7,00	"	103	4,90	"
7,50	"	104	5,10	"
7,50	"	105	5,30	"
8,00	"	106	5,70	"
8,00	"	107	6,10	"
8,50	"	108	6,30	"
9,50	"	109	6,90	"
10,00	"	110	7,40	"
10,50	"	111	7,90	"
11,00	"	112	8,30	"
12,00	"	113	8,60	"
12,50	"	114	9,00	"
		115	8,80	"

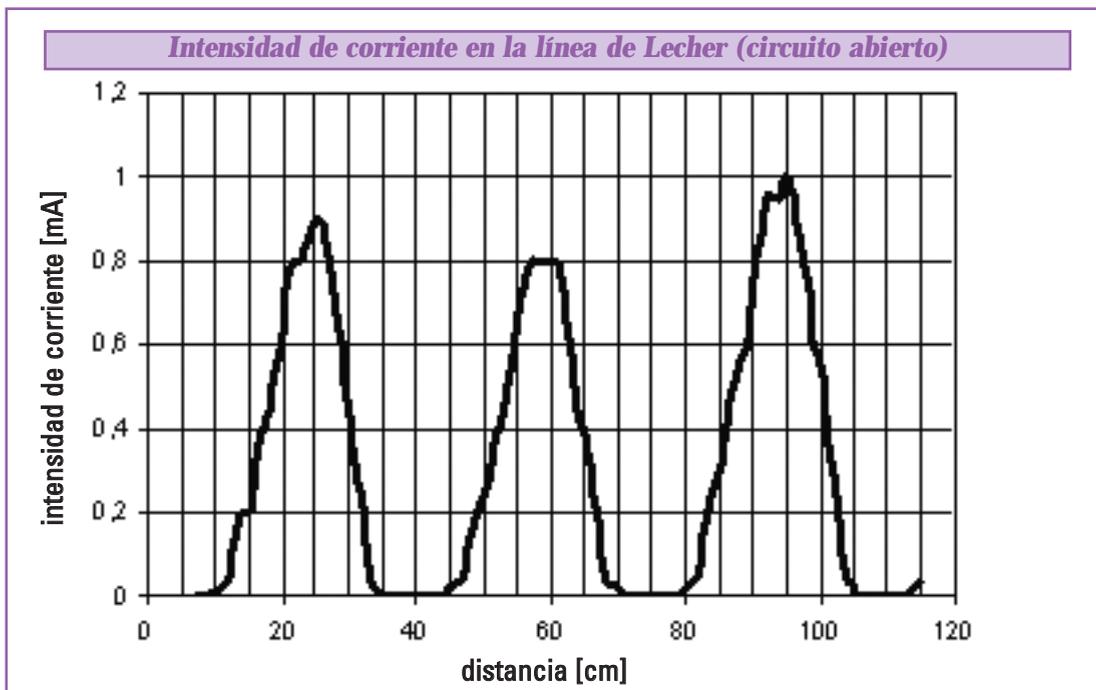
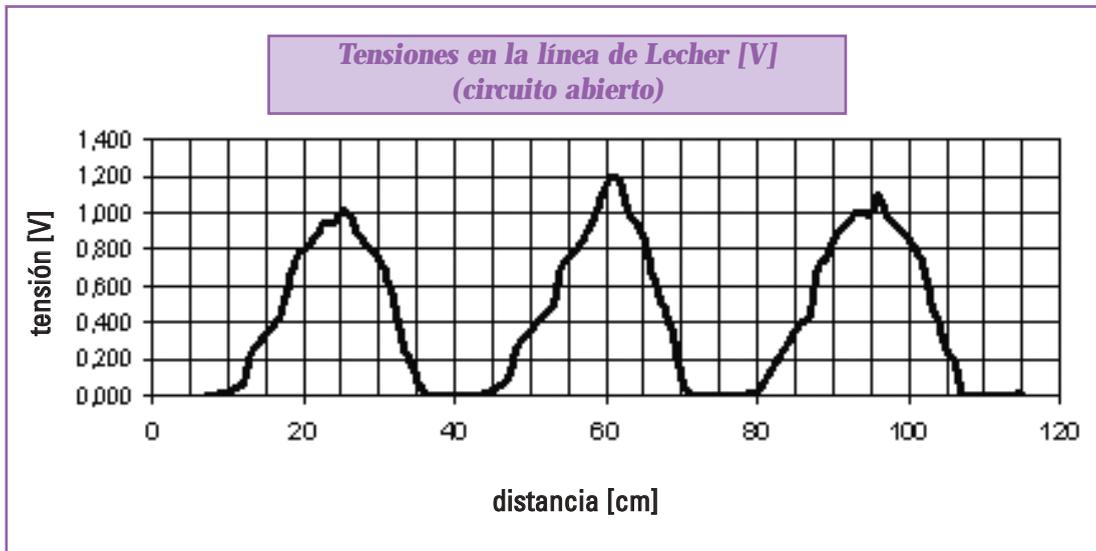
Línea a circuito abierto				
Ensayo a circuito abierto				
Corriente	Escala	Distancia	Tensión	Escala
0,000	50 μ A	7	0,000	0,1 V
0,010	"	10	0,015	"
0,022	"	11	0,040	"
0,038	"	12	0,070	"
0,150	2,5 mA	13	0,220	0,5 V
0,200	"	14	0,280	"
0,200	"	15	0,340	"
0,300	"	16	0,380	"
0,400	"	17	0,450	"
0,450	"	18	0,600	2,5 V
0,550	"	19	0,750	"
0,650	"	20	0,800	"
0,750	"	21	0,850	"
0,800	"	22	0,900	"
0,800	"	23	0,950	"
0,850	"	24	0,950	"
0,900	"	25	1,000	"
0,900	"	26	1,000	"
0,800	"	27	0,900	"
0,700	"	28	0,850	"
0,600	"	29	0,800	"
0,450	"	30	0,750	"
0,300	"	31	0,650	"
0,250	"	32	0,500	"
0,043	50 μ A	33	0,300	0,5 V
0,023	"	34	0,200	"
0,004	"	35	0,090	0,1 V
0,001	"	36	0,008	"
0,001	"	37	0,000	"
0,001	"	38	0,000	"
0,001	"	39	0,000	"
0,001	"	40	0,000	"
0,001	"	41	0,000	"
0,001	"	42	0,000	"
0,002	"	43	0,000	"
0,008	"	44	0,010	"
0,019	"	45	0,030	"
0,030	"	46	0,050	"
0,046	"	47	0,090	"
0,150	2,5 mA	48	0,250	0,5 V
0,200	"	49	0,300	"
0,250	"	50	0,350	"
0,300	"	51	0,400	"
0,400	"	52	0,450	"
0,450	"	53	0,500	"
0,550	"	54	0,700	2,5 V
0,650	"	55	0,750	"
0,750	"	56	0,800	"
0,800	"	57	0,850	"
0,800	"	58	0,950	"
0,800	"	59	1,050	"
0,800	"	60	1,150	"

Corriente	Escala	Distancia	Tensión	Escala
0,800	"	61	1,200	"
0,750	"	62	1,150	"
0,600	"	63	1,000	"
0,450	"	64	0,950	"
0,400	"	65	0,850	"
0,300	"	66	0,700	"
0,200	"	67	0,550	"
0,045	50 μ A	68	0,450	"
0,028	"	69	0,300	"
0,024	"	70	0,100	0,5 V
0,002	"	71	0,010	0,1 V
0,001	"	72	0,000	"
0,001	"	73	0,000	"
0,001	"	74	0,000	"
0,001	"	75	0,000	"
0,001	"	76	0,000	"
0,001	"	77	0,000	"
0,002	"	78	0,000	"
0,005	"	79	0,010	"
0,015	"	80	0,018	"
0,031	"	81	0,078	"
0,050	"	82	0,150	0,5 V
0,200	2,5 mA	83	0,220	"
0,250	"	84	0,280	"
0,300	"	85	0,350	"
0,400	"	86	0,400	"
0,500	"	87	0,450	"
0,550	"	88	0,700	2,5 V
0,600	"	89	0,750	"
0,750	"	90	0,850	"
0,850	"	91	0,900	"
0,950	"	92	0,950	"
0,950	"	93	1,000	"
0,950	"	94	1,000	"
1,000	"	95	1,000	"
0,950	"	96	1,100	"
0,850	"	97	1,000	"
0,750	"	98	0,950	"
0,600	"	99	0,900	"
0,550	"	100	0,850	"
0,450	"	101	0,800	"
0,300	"	102	0,700	"
0,200	"	103	0,500	"
0,050	50 μ A	104	0,400	0,5 V
0,025	"	105	0,250	"
0,005	"	106	0,200	"
0,001	"	107	0,020	0,1 V
0,001	"	108	0,005	"
0,001	"	109	0,000	"
0,001	"	110	0,000	"
0,001	"	111	0,000	"
0,001	"	112	0,000	"
0,003	"	113	0,000	"
0,022	"	114	0,005	"
0,030	"	115	0,015	"

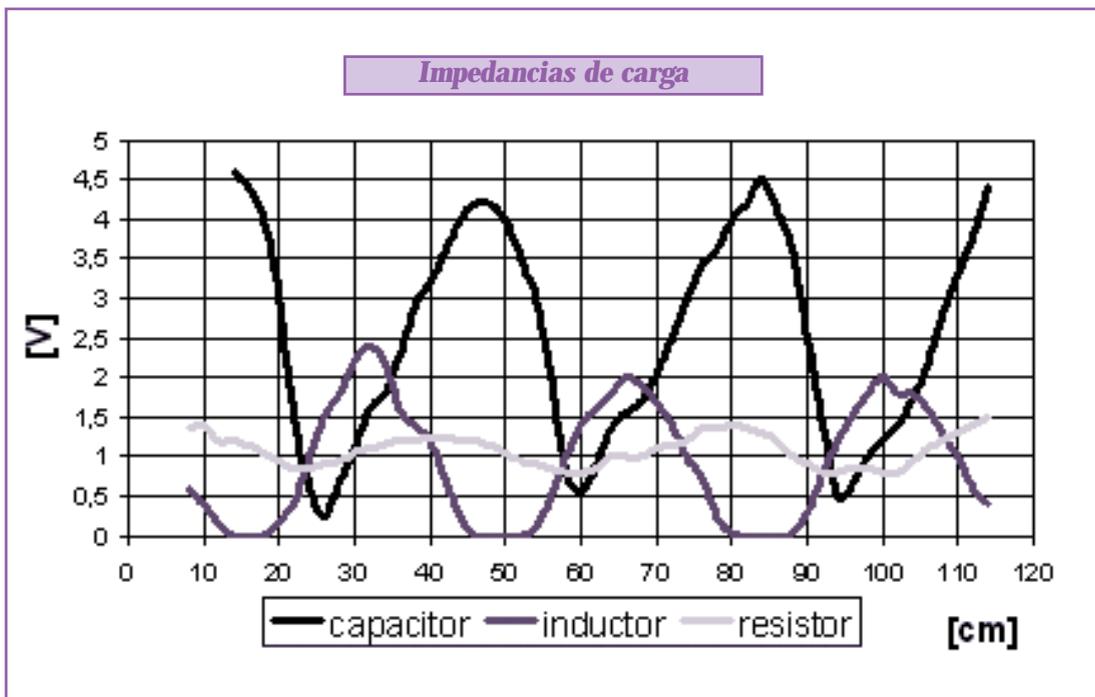
a. Ensayo con la línea cortocircuitada en el extremo final



b. Ensayo con la línea terminada a circuito abierto



c. Ensayo con la línea terminada en diferentes impedancias de carga

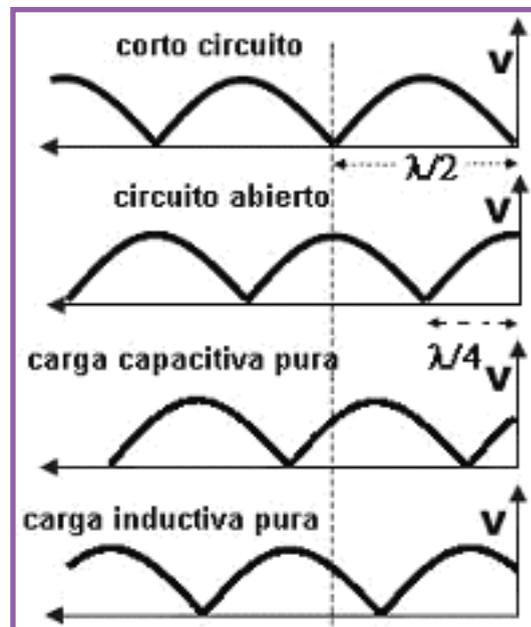


Es interesante observar la mínima variación entre valores máximos y mínimos del resistor de 200 ohm (pequeña relación de onda estacionaria ROE)

Consideremos el efecto de las diferentes cargas en la línea de Lecher.

Comportamiento en situaciones ideales:

Es interesante, asimismo, observar el corrimiento de los lóbulos iluminados en correspondencia con las características de la carga.

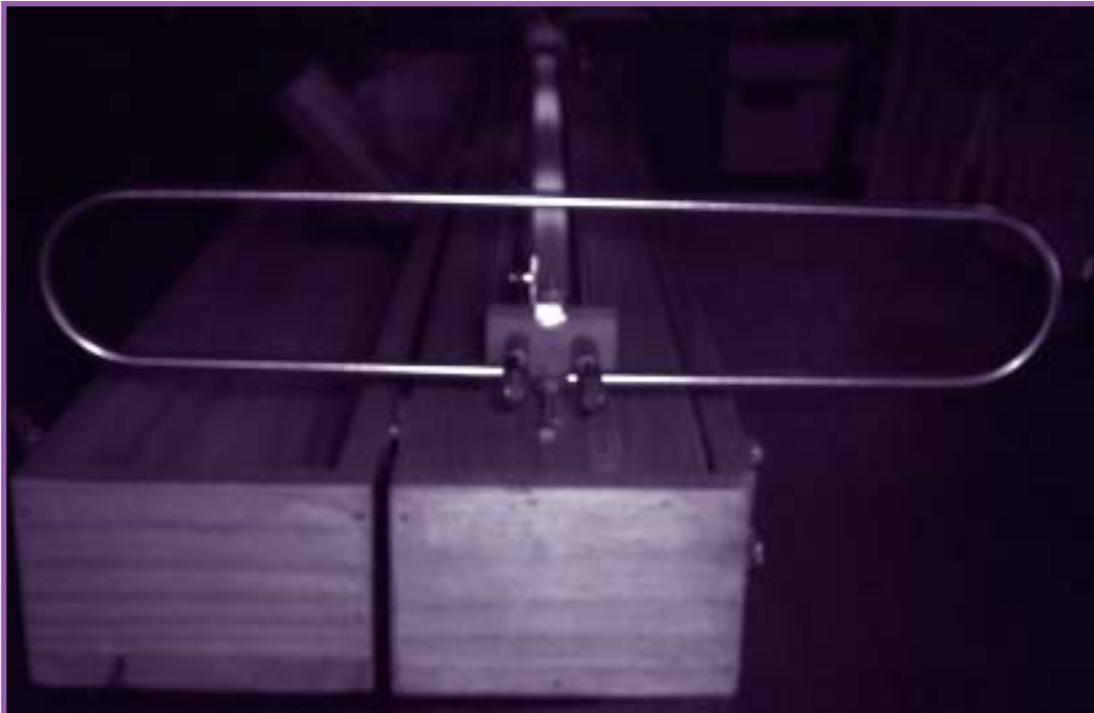




Carga resistiva; lóbulo brillante próximo



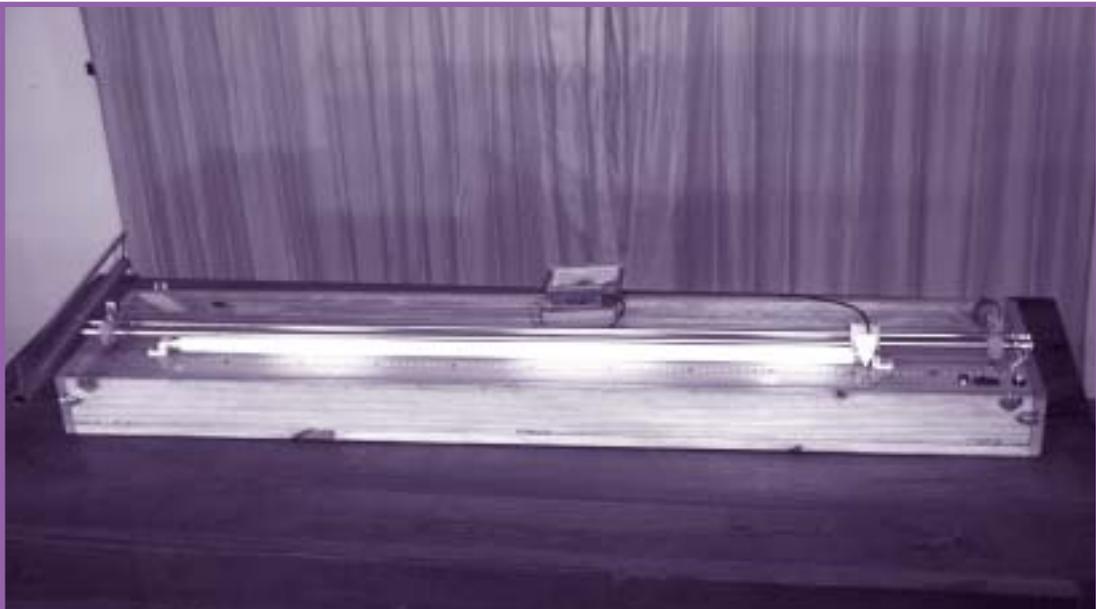
Carga inductiva; lóbulo brillante distante



Carga: dipolo plegado de 300 ohm



Carga: dipolo plegado de 200 ohm



Línea de Lecher; se observan 3 lóbulos de luz



Línea de Lecher; se observan 2 lóbulos de luz



Línea de Lecher terminada en circuito abierto



Línea de Lecher terminada en cortocircuito

4. EL EQUIPO EN EL AULA

El **dispositivo para evaluar parámetros de líneas** propone dos instancias diferentes de trabajo:

- Los alumnos, guiados por el docente, fabrican el equipo.
- Contando con el equipo, los alumnos realizan observaciones y mediciones.

El tipo de tarea, los conocimientos que se requieren, el tiempo disponible, los recursos materiales o económicos, la disposición y organización, entre otros aspectos, son muy diferentes en cada una de estas instancias.

En el **primer caso** -partiendo de un proyecto tecnológico-, se organizan grupos de trabajo, y se encarga a cada uno el diseño y la construcción de una parte. Para esto, los alumnos recaban antecedentes e información relacionada, plantean los aspectos a mejorar de esta presentación o la adecuación a casos concretos, explican las decisiones que toman.

El nivel de formación que se requiere en el grupo de alumnos es mayor que en para realizar observaciones y mediciones, por lo que esta forma de trabajo está destinada a estudiantes de los últimos años de escuelas técnicas secundarias o de tecnicaturas.

Entre las partes a diseñar y realizar con cierta autonomía están: la fuente de alimentación -que tiene que adecuarse al transmisor que se utilice-, el soporte y el estudio de la posición del

lazo captor, el soporte y la construcción de la línea de Lecher -que incluye el cálculo de la relación entre el diámetro de los conductores y la distancia entre conductores-, el sistema de arrastre de la sonda captora, el tubo fluorescente -con el sistema de encendido-, la selección del instrumento de medición y de la cinta métrica, la caja contenedora o soporte general, los accesorios -cortocircuitador, dipolos, impedancias de carga-, el transmisor -ya sea su elaboración o selección-, así como el temporizador.

La reunión de los diferentes grupos de trabajo para acordar lineamientos generales, cronogramas de tareas, criterios de diseño, así como formas de evaluar las partes, va a permitir que la tarea se desarrolle ajustadamente.

Una actividad interesante para realizar en el aula es la de estudiar en grupos cada parte asignada y elaborar un informe donde se ofrezcan elementos de juicio para tomar decisiones en relación con esa parte (por ejemplo, si se elabora o se selecciona un dispositivo existente, argumentando cada alternativa).

Otra tarea que puede colaborar al desarrollo de competencias para la comunicación en los alumnos es la elaboración de informes técnicos, memorias descriptivas, o listados de materiales y cronogramas de actividades de las tareas del grupo.

En el **segundo caso**, se integra el *kit* en diferentes tareas, según el contenido a aprender:

comprensión de fenómenos físicos o experimentación, más concreta, relacionada con la adaptación de líneas.

En este marco de diversificación de tareas, vamos a plantearle, ahora, algunas propuestas de actividades de diferentes niveles de complejidad, destinadas a estudiantes con distintos conocimientos previos y provenientes de cursos variados. Al plantearle estas situaciones de enseñanza y de aprendizaje no es nuestra intención proponerle un producto didáctico a modo de "paquete cerrado", sino establecer un punto de partida que quede abierto a su innovación, a su reformulación, a su adaptación a las condiciones reales, regionales, que usted considere pertinentes.

Intentamos que cada actividad favorezca el desarrollo de estrategias cognitivas, de manera de ubicar al estudiante en un rol activo, que lo involucre en la resolución de problemas y que le permita intentar soluciones pertinentes, responsables y adecuadas. Pretendemos que el estudiante avance hacia la metacognición, que reflexione sobre la forma particular que tiene de aprender y que sea cada vez más autónomo en su aprendizaje.

En la mayor parte de las actividades, proponemos el trabajo en equipo, para propiciar el desarrollo de habilidades para aprender con otros.

Las primeras actividades se centran en la visualización del fenómeno usando un tubo fluorescente que se ioniza (ilumina) por zonas y en la explicación cualitativa. Luego, las propuestas avanzan hacia una explicación más formal y cuantitativa.

Según el conocimiento instrumental que los estudiantes tengan de la matemática, usted

puede proponerles avanzar hacia la formalización, utilizando ecuaciones que describan el fenómeno. En todos los casos, es posible hacer representaciones gráficas de lo observado.

Asimismo, planteamos actividades vinculadas a la resolución de problemas prácticos, que promueven el dominio de la técnica de medición.

Nuestras sugerencias para integrar el equipo **dispositivo para evaluar parámetros de líneas** al aula, son:

Medición de parámetros de una onda estacionaria: Longitud de onda, período, frecuencia, relación de onda estacionaria, nodos y antinodos

Los objetivos de esta actividad son que los estudiantes sean capaces de:

- Appreciar la capacidad de un circuito de transferir la máxima potencia a la carga.
- Utilizar un medio de evaluación como la línea de Lecher (línea de conductores paralelos con cierta impedancia característica) e interpretar lo observado.
- Observar un equipo o dispositivo con relación a las características provistas por el fabricante.

Medición de la relación de onda estacionaria (ROE) en una línea con diferentes impedancias de carga. Utilización de la carta de Smith para calcular los valores de impe-

dancia correspondientes

Durante esta actividad, el grupo de alumnos va a:

- Analizar las ondas estacionarias con diferentes cargas.
- Utilizar la carta de Smith para determinar las características de la impedancia de la carga conectada a la línea de Lecher. Relacionar las mediciones con las características de los componentes.
- Elaborar un informe para explicar lo experimentado, utilizando diferentes recursos o sistemas de representación.
- Estimar la confiabilidad de las determinaciones e inferir posibles fuentes de error.

Observación de los campos electromagnéticos sobre la línea. Ionización de un gas. Visualización del efecto de los campos electromagnéticos sobre el plasma

En la primera parte de nuestro módulo, consideramos la situación didáctica de un docente que se propone que sus alumnos puedan:

- Visualizar el fenómeno de ionización por radiofrecuencia en un tubo fluorescente.
- Vincular este efecto con fenómenos de ionización atmosférica relacionados con la propagación de ondas electromagnéticas, u otros fenómenos utilizados en la industria.

El dispositivo para evaluar parámetros de líneas va a proveerle un modelo para concretar estos aprendizajes.

Determinación de la frecuencia de un transmisor

¿Recuerda el problema tecnológico de los alumnos encerrados con un handy inutilizado?

Las actividades 3 y 9 -que planteamos en las próximas páginas- avanzan en su resolución.

Constatación de efectos de la desadaptación de impedancias en líneas de transmisión

En la hora de "Laboratorio de propagación y antenas", dos alumnos de sexto año, Agustín y Gonzalo, no logran ponerse de acuerdo sobre el valor que tendría que tener una resistencia con la que cargarán la línea de Lecher que tienen en el laboratorio.

Los estudiantes suponen que la potencia puesta en juego en una resistencia produce calor; por tanto, una resistencia que caliente más, indicará que se transfirió a ella mayor potencia.

Disponen de dos resistores, uno de 50 ohm y otro de 200 ohm.

Agustín dice que si la resistencia es menor, calienta más. En una oportunidad, él conectó a los 220 volt de la red de alimentación domiciliar un calentador eléctrico cuya resistencia era de 100 ohm y de 500 W de disipación de potencia; luego, probó con otro calentador cuya resistencia era de 200 ohm y observó que calentó más el que tenía la resistencia más chica. Por lo tanto,

Agustín considera que la resistencia de 50 ohm conectada a la línea, calentará más.

Por el contrario, Gonzalo está convencido de que es al revés; pero, no tiene buenos argumentos para defender su posición.

¿Podría usted decir quién tiene razón y fundamentar la respuesta que eligió como correcta?

La situación problemática da ocasión de contrastar dos modelos explicativos que tienen sus particulares espacios de validez. Las actividades 4, 5, 6 y 10 permiten delinear respuestas a este problema.

En este caso, se utiliza el Teorema de la máxima transferencia de potencia. La desadaptación de la carga produce una onda reflejada y la potencia transferida a la carga es menor que la de salida del transmisor.

Es importante tener en cuenta que el equipo dispone de dos alternativas para observar efectos de los campos electromagnéticos que se establecen o viajan soportados por la línea:

- El tubo fluorescente encendido por tramos
- El microamperímetro que mide la corriente que capta un lazo ubicado en la sonda captora.

El tubo fluorescente es muy demostrativo; pero, su uso es más apropiado para análisis cualitativos. Cuando se mantiene encendido por efecto del campo que irradia la línea, se convierte él también en un irradiante, por lo que se componen los campos que irradia la

línea con los que irradia el tubo, y esto modifica un poco² las mediciones.

Con el tubo apagado, es posible usar la sonda para captar campo magnético, el cual induce una corriente en el lazo captor, que es medida por el microamperímetro, sin la incidencia del campo proveniente del tubo. Para hacer mediciones, entonces, es más apropiado realizarlas con el tubo apagado.

Se pueden realizar actividades donde se mida con el instrumento y se observe el tubo encendido, simultáneamente. En este caso, se encuentra que el máximo de corriente en el instrumento corresponde, aproximadamente, a la zona oscura del tubo; y, viceversa: un mínimo en el microamperímetro, se corresponde con zonas iluminadas en el tubo fluorescente.

Recordemos que el tubo emite luz en las zonas donde el gas está ionizado, y esto se corresponde a máximo campo eléctrico (máxima tensión, mínima corriente) y permanece oscuro en zonas de mínimo campo eléctrico, o máximo campo magnético (máxima corriente, mínima tensión).

También es importante aclarar que, tanto los soportes de la línea como el soporte del lazo captor y diodo rectificador, son de materiales dieléctricos que modifican la velocidad de propagación de las ondas y, con ello, la longitud de onda. Por lo tanto, en las inmediateces de los soportes, las lecturas son alte-

² El dieléctrico con que están contruidos los soportes de la línea y el lazo son de grilón, que tiene una constante dieléctrica próxima a 2. Esto produce un acortamiento de la longitud de la línea en $1/\sqrt{2}$, o sea, aproximadamente 0,7 por la longitud ocupada por el dieléctrico (por ejemplo: 2 cm de línea separadas por grilón equivalen a 1,4 cm, aproximadamente).

radas por esta característica. Con el tubo encendido, al mover el soporte de la sonda, se hace evidente el corrimiento de nodos (zonas iluminadas).

Actividad 1

El docente enciende el tubo fluorescente (con el transmisor apagado). Muestra que el tubo permanece encendido mientras mantiene presionado el pulsador y, cuando lo suelta, el tubo se apaga. Pregunta a sus alumnos por qué sucede esto.

Se trata el tema de la ionización del gas que contiene el tubo fluorescente, así como la condición para que se mantenga encendido.

Actividad 2

El docente enciende el transmisor. Muestra que el transmisor está conectado a la línea de Lecher. Pregunta a la clase cómo se podría probar si se establecieron campos electromagnéticos en la línea. Algunas respuestas pueden ser:

- a. Medir la tensión entre los conductores con un voltímetro. El docente analiza con su grupo que la frecuencia del transmisor es del orden de los MHz - megaHertz- y que se requeriría un diodo para medir con un voltímetro; pero, aún así, el solo hecho de tocar los conductores con las puntas de prueba del voltímetro "cargaría" la línea, distorsionaría la configuración de campos y haría imposible la medición.
- b. Sintonizar un receptor a la frecuencia del transmisor y observar sobre éste, con un osciloscopio, la presencia de señal.

- c. Medir con un *Grid Deep* la presencia de campo.
- d. Hacer un lazo y conectarle un LED, para captar campo magnético que induzca una corriente en el lazo y encienda el LED. Esto permite integrar conocimientos referidos a los niveles de energía puestos en juego, y a los valores necesarios de tensión y corriente para encender el LED.
- e. Encender el tubo fluorescente; luego, desconectarlo y obtener que el campo eléctrico mantenga la ionización, etc.

A partir de esta experiencia pueden integrarse contenidos vinculados con:

- Interferencia que produce el sistema de medición (instrumento, sensor, etc.) sobre el sistema a ser medido. Cuidados para minimizar dicha interferencia.
- Tratamiento de los errores asociados a las mediciones.
- Formas de aproximación al valor más probable.
- Zona de influencia de los campos electromagnéticos. Nivel de energía presente en un punto del espacio
- Onda viajera y onda estacionaria

Actividad 3

Para la observación de la onda estacionaria con la línea a circuito abierto, es conveniente que los alumnos conozcan los siguientes contenidos: medición, tratamiento de los errores en las mediciones, propagación de ondas en líneas de transmisión, onda viajera y onda estacionaria, campos electromagnéti-

cos en la propagación de ondas, rectificación con un diodo.

El docente enciende el transmisor y el tubo fluorescente. Abre el debate sobre lo que se observa (zonas iluminadas y zonas oscuras en el tubo) con el tubo desconectado.

Invita a medir las distancias entre nodos y antinodos, y a compararlas.

Trata el tema del error en las mediciones, la distorsión provocada por los dieléctricos.

Pide que los alumnos dibujen la variación de tensión o corriente que se induce en la línea como consecuencia de la onda estacionaria que se establece al estar el extremo de la línea abierto.

Pregunta qué medición es más precisa: si se toma la distancia entre nodos o entre antinodos. Invita a los alumnos a comparar lo que ven en el tubo con la forma del gráfico que dibujaron antes. Les propone estimar la incerteza asociada a la medición de un máximo y la asociada a un mínimo, a fin de que tengan argumentos para sostener la decisión que tomen.

Actividad 4

Para la observación de la onda estacionaria con la línea terminada en cortocircuito, el profesor coloca el cortocircuitador al final de la línea y pide a los alumnos que reiteren las mediciones de distancias.

Pregunta: a) si ha cambiado la frecuencia, b) si han cambiado de lugar las zonas más iluminadas, y solicita a sus alumnos que intenten alguna explicación para lo que observan. En

caso de que cambie el número de zonas iluminadas, solicita que propongan alguna forma de comprobar si ha variado la frecuencia.

Insta a relacionar la velocidad de las ondas electromagnéticas en el aire, con la longitud de onda su frecuencia. Pregunta qué relación hay entre la distancia entre nodos (que ya midieron) y la longitud de onda.

Alumnos y profesor reflexionan sobre la condición de la línea -terminada en cortocircuito o en circuito abierto-, así como sobre los efectos no deseados siempre presentes: la inductancia de cualquier puente, la capacidad -cuya reactancia aumenta con la presencia de dieléctricos-, la posibilidad de construir cargas puramente resistivas o totalmente reactivas, la irradiación y la reflexión de ondas que se propagan.

Actividad 5

Para evaluar los efectos cualitativos de cargas reactivas:

- Cargar la línea (conectar en su extremo) un capacitor. (Si fuera posible, medir la impedancia de la carga -o sea, el capacitor con el soporte y el largo de patas que se vaya a usar-- con un capacímetro o un Q-metro a la frecuencia de operación).
- Observar hacia dónde se desplazan los nodos. Registrar la desviación.
- Cargar la línea con un inductor y observar hacia dónde se desplazan los nodos. Registrar la desviación.
- Comparar el sentido de la desviación en relación con la línea terminada en cortocircuito o a circuito abierto. Ampliar la

explicación (cortocircuito: corriente máxima, tensión nula y circuito abierto corriente nula, tensión máxima).

Actividad 6

Para la visualización de efectos de cortocircuitos sobre la línea:

- Cortocircuitar con el dedo (o el cortocircuitador) sobre una zona oscura y, luego, sobre una zona iluminada.
- Observar y registrar qué sucede.
- Desplazar el dedo, puenteando la línea y observar qué sucede.
- Hacer inferencias.

Actividad 7

Para analizar el lazo captor:

- Describir la sonda sensora y explicar para qué sirve (¿Para qué se usa el diodo?).
- Hacer algunas suposiciones acerca de la distorsión que provoca el soporte.
- Discutir acerca de la posibilidad de desplazarla con la mano, con el sistema de hilo, con un manguito que la sostenga, etc.

Actividad 8

Describir qué mide la sonda y qué relación se establece con los campos eléctrico y magnético.

Ampliar la descripción con dibujos o con una red conceptual.

Actividad 9

Para la medición y ubicación de valores:

- Apagar el tubo fluorescente (Para ello, apagar el transmisor y volver a encender sólo el transmisor).
- Medir valores máximos y mínimos con un instrumento adecuado (puede ser un multímetro digital o analógico, en escalas de micro y mili Ampère).
- Confeccionar una tabla con una columna para registrar distancias y otra para registrar la correspondiente intensidad de corriente.
- Descartando los valores extremos, más afectados de errores por la distorsión de los soportes, encontrar la distancia entre máximos y compararla con la distancia entre mínimos. Comparar las distancias medidas entre máximos de corriente (medidas con el instrumento) con las distancias medidas entre máximos de luz emitida por el tubo fluorescente (los máximos de tensión corresponden a máxima luz).

Actividad 10

Para la medición y cálculo de la ROE (Relación de Onda Estacionaria) para la línea a circuito abierto, en cortocircuito y terminada en su impedancia característica:

- Colocar una carga que se aproxime a una resistencia pura de igual valor que la impedancia característica de la línea (en este caso, 200 ohm).
- Medir máximos y mínimos con el instrumento. Comparar con las lecturas realizadas con la línea terminada en circuito abierto o en cortocircuito.
- Calcular la ROE para cada caso (con resistencia, con el circuito abierto y con el cortocircuito).

Actividad 11

Para la medición y el cálculo de la ROE en la línea con una impedancia de carga:

- Colocar una carga con cualquier valor de impedancia
- Medir máximos y mínimos con el instrumento.
- Comparar con las lecturas realizadas con la línea terminada en circuito abierto o en cortocircuito.
- Calcular la ROE para este caso.

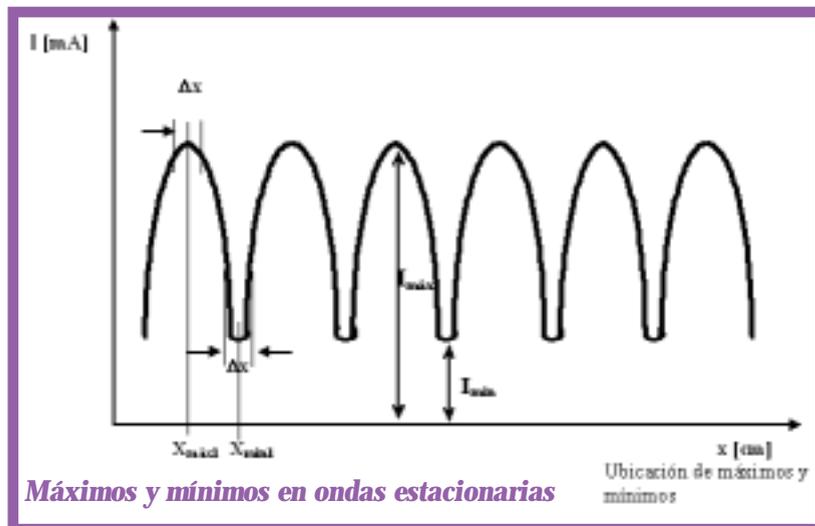
Actividad 12

- Graficar los valores encontrados en las actividades 11 y 12. Puede usarse papel cuadriculado y ubicar en el eje horizontal (x) la longitud de la línea, partiendo del extremo donde se conecta la carga. En el eje vertical (y) se disponen los valores obtenidos en el instrumento, para cada ubicación.
- Es conveniente ubicar los máximos y mínimos, y tomar unos dos o tres valores intermedios para cada intervalo entre máximo y mínimo, dibujando la variación de, al menos, una longitud de onda. La sensibilidad del instrumento incide en la facilidad para tomar las lecturas. En particular, para medir máximos y mínimos, es adecuado tomar un par de valores, a ambos lados del mínimo, y, luego, promediarlos.

Actividad 13

Para la estimación del valor de una carga reactiva utilizando la carta de Smith:

- Colocar el cortocircuito en el lugar donde se va a colocar la carga a medir (al final de la línea).
- Identificar los mínimos, registrando la ubicación en centímetros desde la carga. Estos valores se toman como referencia.
- Extraer el cortocircuito y conectar la carga desconocida.
- Medir los mínimos, tanto el valor en microamperes como la ubicación en centímetros, desde la carga.
- Medir los máximos, tanto el valor en microamperes como la ubicación en centímetros, desde la carga.
- Promediar los valores máximos, hallando un $I_{\text{máx}}$. También se promedian los mínimos, hallando un $I_{\text{mín}}$. Se halla la ROE correspondiente a esa carga, efectuando el cociente $I_{\text{máx}} / I_{\text{mín}}$.



- En la carta de Smith, dibujar el círculo correspondiente a la ROE. En el caso de cargas puramente reactivas, la ROE es un valor muy grande, y, aunque en la realidad es muy difícil hacer cargas reactivas puras, se pueden lograr buenas aproximaciones. En ese caso, la ROE da un valor mayor de 40; entonces, se pueden ubicar los valores en la carta sobre el círculo máximo, sin demasiado error. Esto implica despreciar la resistencia de la carga, o sea, considerarla reactiva pura.
- Elegir un mínimo que sea cómodo; por ejemplo, a $\frac{3}{4}$ de la longitud de onda (53,55 cm) a partir de la carga (71,4 cm para 420 MHz). Este valor tiene menor error relativo que a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, debido a la incidencia del soporte de la línea.
- Comparar la ubicación del mínimo (a $\frac{3}{4}$ de longitud de onda desde la carga o el valor que se haya elegido) medido con el cortocircuito con el correspondiente mínimo medido con la carga. Observar si el mínimo medido con la carga está hacia el generador o hacia la carga del mínimo de referencia (con la línea terminada en cortocircuito). Efectuar la diferencia entre la distancia en centímetros de la ubicación de ambos mínimos.
- Normalizar en fracciones de longitud de onda y llevar a la carta, moviéndose según corresponda, hacia la carga o hacia el generador. Hacia el generador, girar en sentido horario y encontrar valores inductivos. Hacia la carga, girar en sentido antihorario y encontrar valores capacitivos.
- En la carta, leer el valor correspondiente a la reactancia, que es la intersección con el círculo máximo.

- Desnormalizar para 200 ohm (de la línea). Se puede encontrar el valor de capacidad o inductancia, recordando que:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \qquad X_L = 2\pi fC$$

Algunos recaudos a tener en cuenta:

- En la medida de lo posible, coloque el cortocircuito en el mismo lugar donde se coloca la carga que se mide.
- Recuerde el efecto inductivo de las patas de los componentes; a la frecuencia de trabajo producirán una reactancia inductiva no despreciable.

Actividad 14

Para la estimación de los valores resistivo y reactivo de una impedancia:

- Repetir los seis primeros pasos listados en la actividad anterior.
- En la carta de Smith, con un compás, dibujar el círculo correspondiente a la ROE. En este caso, el círculo es menor, ya que se trata de una impedancia con una componente resistiva.
- Elegir un mínimo que sea cómodo; por ejemplo, a $\frac{3}{4}$ de la longitud de onda.
- Comparar la ubicación del mínimo (a $\frac{3}{4}$ de longitud de onda desde la carga o el valor que se haya elegido antes) medido con el cortocircuito, con el correspondiente mínimo medido con la carga. Observar si el mínimo medido con la carga está hacia el generador o hacia la carga del mínimo de referencia (con la línea terminada en cortocircuito). Efectuar la diferencia entre la distancia -en centímetros- de la ubicación de ambos mínimos.
- Normalizar en fracciones de longitud de onda y llevar a la carta, moviéndose según corresponda, hacia la carga o hacia

el generador. Hacia el generador, se gira en sentido horario y se encuentran valores inductivos. Hacia la carga, se gira en sentido antihorario y se encuentran valores capacitivos.

- Una vez determinado este valor (arco), unir con el centro de la carta (radio). La intersección del radio con el valor determinado en el paso anterior incide en el valor de resistencia (leyendo en el círculo de resistencia que pasa por el punto) y en el valor de reactancia correspondiente.
- Desnormalizar para 200 ohm (de la línea). Encontrar el valor de capacidad o inductancia.

Actividad 15

El dipolo plegado es un irradiante formado por un circuito resonante. Si la intención es enviar una señal electromagnética, el dipolo es la antena que se encarga de adaptar la salida de la línea al medio circundante. Si la impedancia característica de la línea es de 200 ohm, un dipolo de ese valor de impedancia permite lograr la máxima transferencia de energía. Si el dipolo es de un valor diferente (mayor o menor), se produce una desadaptación de impedancia y no hay máxima transferencia de energía.

Esta situación produce una onda reflejada cuya magnitud puede observarse midiendo la ROE.

Por lo tanto, para estimar la impedancia de un dipolo plegado se puede medir la ROE siguiendo los pasos indicados en la actividad 11.

Actividad 16

Los pasos para realizar la estimación de la

impedancia de un dipolo plegado de 200 ohm son similares a los indicados en la actividad 15. Es de suponer que si el dipolo tiene una impedancia igual a la característica de la línea, está adaptado y permite la máxima transferencia de potencia; por esto, la onda reflejada es mínima (En el caso ideal, en la línea se tiene una onda viajera, que llega a la antena y se irradia al medio).

Puede suceder que se observe un efecto reactivo (capacitivo o inductivo) en el caso de que, a la frecuencia de trabajo, no sea un circuito perfectamente resonante; o sea que las reactancias no sean iguales y prevalezca una sobre la otra. En este caso, siguiendo los pasos indicados para medir una impedancia, se puede detectar el tipo de efecto reactivo (por ejemplo, observar hacia dónde se mueve un mínimo) y el valor, como se indicó en la actividad 14. Con este dato, y el auxilio de las tablas o fórmulas que se usaron para diseñar el dipolo, se calcula el valor de las compensaciones que hay que implementar en un rediseño.

Actividad 17

Para la compensación de los efectos reactivos de una carga para lograr máxima transferencia de energía:

- El primer paso consiste en medir los efectos reactivos de una carga, tal como se indicó en la actividad 14.
- A partir de allí, se calcula el valor de capacidad o inductancia necesarias para compensar.

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–
Oficina 112
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a evcenet@inet.edu.ar, enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

Desde ya, muchas gracias.

Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

- | | |
|--|--|
| 1. Nivel educativo | 5. Documentación |
| 2. Contenidos científicos y tecnológicos | 6. Otras características del recurso didáctico |
| 3. Componentes didácticos | 7. Otras características del material teórico |
| 4. Recurso didáctico | 8. Propuestas o nuevas ideas |

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

Nivel educativo	EGB 2	EGB 3	Polimodal (*)			Escuela técnica (*)						Trayecto técnico-profesional (*)	Formación profesional (*)	Otra (*)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6				
Nivel en el que usted lo utilizó															

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....

.....

(*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.

.....

2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

.....

.....

.....

.....

.....

.....



3. Componentes didácticos:



3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario):

.....

.....

.....

.....

.....

¹ Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.

³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No



4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?		
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?		
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?		
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?		
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?		
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?		
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?		
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?		
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?		

Sí	No

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

- | | |
|--|---|
| a. <input type="checkbox"/> Planificación. | b. <input type="checkbox"/> Diseño en dos dimensiones. |
| c. <input type="checkbox"/> Construcción, armado. | d. <input type="checkbox"/> Ensayo y control. |
| e. <input type="checkbox"/> Superación de dificultades (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material). | |
| f. <input type="checkbox"/> Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.). | |

4.1.4. Complete este ítem sólo si realizó el proceso de construcción del equipo siguiendo los procedimientos indicados en el Manual. Si no fue así, lo invitamos a responder el apartado 4.1.5.

Acerca de los materiales, herramientas e instrumentos:

	Sí	No
a. La especificación de los materiales para la construcción, ¿fue suficiente para conseguirlos?		
b. ¿Utilizó los mismos materiales (en calidad y tipificación) indicados en la documentación?		
c. ¿Reemplazó materiales, instrumentos, componentes, piezas, etc., sin alterar el resultado final previsto en el material?		
d. La especificación de las herramientas a utilizar, ¿le resultó adecuada?		
e. La cantidad de herramientas indicadas, ¿fue la necesaria?		
f. Los instrumentos, ¿estuvieron bien especificados?		
g. El tipo y cantidad de instrumentos, ¿fueron los adecuados para armar el recurso didáctico?		

4.1.5. En caso de que usted haya construido un recurso didáctico diferente al propuesto por el material de capacitación, le pedimos que nos indique si la razón fue:

a. <input type="checkbox"/> El propuesto no se ajustaba a sus necesidades curriculares.	b. <input type="checkbox"/> No pudo conseguir los materiales o instrumentos indicados.
c. <input type="checkbox"/> No pudo interpretar el manual de construcción.	d. <input type="checkbox"/> Otra (Por favor, especifíquela).



4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a. Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b. Es más económico.

c. Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d. Es más adaptable (a diversos usos).

e. Otra (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....

.....

.....

.....

.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas):

.....

.....

.....

.....

.....

4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):



Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable ⁴	Otro ⁵
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

⁴ NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

⁵ Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso le permitió a los alumnos (habilidades intelectuales):	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
Capacidad de planificar				
h. Identificar variables o aspectos fundamentales de un problema tecnológico.				
i. Organizar su trabajo en etapas (identificar y seguir la secuencia de operaciones de un proceso).				
j. Ejecutar las actividades en los plazos o etapas previstas.				
k. Seleccionar materiales, herramientas y piezas, de acuerdo con las necesidades del diseño.				
l. Anticipar y resolver dificultades que podrían surgir en el proceso.				
m. Prever puntos críticos de todo el proceso.				
n. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				



5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):



5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (enquadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV ⁶	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....



6.3. Didácticas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)



	Sí	No
a. Congruencia. Tiene relación con los testimonios de realidad incluidos en el módulo de capacitación.		
b. Pertinencia. Los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional.		
c. Integración. Posibilita el tratamiento asociado de los conocimientos científicos y tecnológicos propuestos en el material.		
d. Escalabilidad. Es posible utilizarlo con proyectos o problemas con diferentes niveles de complejidad.		
e. Complejidad creciente. Las soluciones alcanzadas para una parte del problema, sirven de base para las siguientes o permite que, agregando componentes, sea utilizado como solución a problemas más complejos.		
f. Adaptabilidad. Permite su adaptación a soluciones diversas en torno a las problemáticas planteadas.		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificándola con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB ⁷	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

⁷ Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo

8. Propuestas o nuevas ideas:



Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

- a. docente a cargo de un grupo de alumnos b. directivo
- c. responsable de la asignatura: d. lector del material

.....

- e. otro (especifique):

.....

.....

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.		
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)		
c. Planificación de las experiencias didácticas.		
d. Trabajo con resolución de problemas.		

En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



A series of horizontal dotted lines providing space for writing the response to the question above.

Títulos en preparación de la serie “**Recursos didácticos**”.

- Arquitectura bioclimática
- Ascensor
- Banco de carpintero
- Biodigestor
- Biorreactor para la producción de alimentos
- Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- Celda de combustible
- Celda solar
- Entrenador en lógica programada
- Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- Equipamiento para matricería
- Generador de biodiesel
- Generador eólico
- Instalación sanitaria de una vivienda
- Manipulador neumático
- Máquina de vapor
- Programador visual para microcontroladores PIC
- Relevador de las características de componentes semiconductores
- Simuladores interconectables basados en lógica digital
- Sismógrafo
- Sistemas SCADA para el control de procesos industriales
- Tren de aterrizaje