

ISSN 0719-5303



**NEO** JOURNAL OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGIES

jint.usach.cl

OCTUBRE 2014, VOL, 1 No. 1



## PERSPECTIVAS DEL PASADO PARA ALCANZAR EL FUTURO



Publicación del GINT Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías



jint.usach.cl

NEO

JOURNAL OF INDUSTRIAL  
TECHNOLOGIES

OCTUBRE 2014, VOL, 1 No. 1

**Editor General**

Dr. Arturo Rodríguez García, GINT, USACH, Chile

**Editor Asistente**

Dr. Fideromo Saavedra Guzmán, Chile

**Editorial**

Dr. Arturo Rodríguez García, Chile

**Presentadores**

Gumercindo Vilca Cáceres, Decano Facultad tecnológica, USACH, Chile

Antonio Gutiérrez Osorio, Director Departamento Tecnologías Industriales, USACH, Chile

**Carátula**

César González Galaz, Publicista, Chile

Octubre 2014, Vol. 1, N° 1

jint.usach.cl

## PERSPECTIVAS DEL PASADO PARA ALCANZAR EL FUTURO

Editor: Arturo Rodríguez G.

- |     |  |
|-----|--|
| 2   | Quienes somos  |
| 3   | Editorial  |
| 4   | Presentadores invitados  |
| 6   | Transmisión de Datos   |
| 34  | Plantas térmicas para el suministro descentralizado de calor y electricidad a la industria y a zonas urbanas |
| 48  | Ánálisis programado de desgaste  |
| 71  | Alternativas de control de combustión en calderas industriales   |
| 83  | Bases de hormigón y anclaje de máquinas  |
| 87  | Conceptos básicos sobre instrumentación para medición y control de procesos                                  |
| 107 | Determinación de emisiones en masa para contaminación de origen vehicular                                    |

## QUIENES SOMOS

El Departamento de Tecnologías Industriales, ha desarrollado a lo largo del tiempo, varias publicaciones, uno de ellas es



MANTENCION & INDUSTRIA orientada a la gestión tecnológica con énfasis en el mantenimiento, cuyo primer número sale en Agosto de 1984 y el último número sale en Diciembre 1992, logrando con mucho esfuerzo publicar 14 ediciones impresas. Durante su desarrollo se publicaron trabajos muy interesantes asociados al ámbito antes mencionado. Dada la importancia de la revista en la historia del Departamento de Tecnologías Industriales (DTI), hoy se intenta dejar registro digital del esfuerzo realizado. Aún perduran en la biblioteca de la Facultad Tecnológica y entre colegas del Departamento de Tecnologías Industriales algunos ejemplares impresos, como evidencia de un historia de esfuerzo y profesionalismo.

Esta revista científica y tecnológica, aprende y recoge los esfuerzos de los profesionales que anteceden a este emprendimiento y se proyecta como una evolución actualizada y potenciada desde el ámbito tecnológico digital.

El año 2014, surge un revitalizado esfuerzo, que intenta mostrar el avance científico y tecnológico en, **MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, CONSTRUCCIÓN Y TELECOMUNICACIONES**. La revista está dirigida por el Dr. Arturo Rodríguez G., académico del Departamento de Tecnologías Industriales e investigador Principal del Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías (GINT), la revista se define como un emprendimiento que aporta al registro y difusión de los avances científicos y de las nuevas tecnologías en los diferentes ámbitos de la actividad industrial, este nuevo emprendimiento es denominado **Journal of Industrial Neo-Technologies (JINT)**.

### Visión

La revista será un espacio de libre acceso, donde la información científica estará al alcance de todos aquellos que requieran utilizarla para lograr transformaciones a través del desarrollo tecnológico.

### Misión

Establecer un espacio donde la calidad y la excelencia de la información científica y tecnológica se ponga al servicio de todos para alcanzar la democratización del conocimiento.

**EDITORIAL**

El vertiginoso avance de las tecnologías y la necesidad de obtener niveles de producción cada vez mayores y a menor costo, hacen manifiesto que el desarrollo del conocimiento se oriente hacia la satisfacción de las necesidades de la industria. Por lo tanto, las tecnologías industriales cobran relevancia en un mundo que requiere cada día mayores cantidades de productos. Los cambios en estos ámbitos son muy rápidos y no son homogéneos, es decir las líneas de investigación no siguen caminos linealmente proporcionales. Son esos eventos los que determinaron que el equipo editor decidiera la creación de la revista, abarcando un amplio espectro del mundo tecnológico con una marcada orientación de aquellas tecnologías propias del quehacer del Departamento de Tecnologías Industriales de la Universidad de Santiago de Chile.



Las tecnologías avanzan en la medida que las problemáticas aparecen, sin embargo muchas veces los problemas que fueron solucionados vuelven a aparecer en otras áreas de manera que las antiguas soluciones tienden a ser mejoradas logrando nuevas tecnologías. Es decir, muchas veces bastaría con mirar las soluciones del pasado y mejorarlas con procesos y procedimientos actualizados logrando una nueva y mejorada tecnología. En este primer número de la revista, queremos dejar registro del esfuerzo de la generación anterior con la finalidad de mirar hacia adelante reconociendo lo realizado por nuestras tecnologías fundacionales. Desde perspectiva se presentan siete artículos de los diferentes ámbitos tecnológicos fundacionales de nuestro Departamento, los cuales representan diferentes estudios y aplicaciones relevantes de la época.

Por tal motivo esperamos que los nuevos aportes que se presenten, contrastarán con lo mostrado en este primer número que rinde homenaje a un esfuerzo que resulta ser el embrión de uno nuevo que hemos denominado Journal of Industrial Neo-Technologies (JINT).

**EL EDITOR**

## PRESENTACION DECANO-FACTEC



La Facultad Tecnológica tiene una larga trayectoria en emprendimientos editoriales y una de las más recordadas es la Revista Mantención&Industria editada por el Departamento de Tecnologías Industriales, la cual tuvo un formato impreso y se lograron realizar 14 números entre los años 1984 a 1992 en plena sociedad industrial.

Hoy, invitado por el Comité Editorial, representado por el Dr. Arturo Rodríguez G. miembro activo de nuestra comunidad académica, tengo el honor de presentar el Journal of Industrial Neo-Technologies (JINT) del Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías (GINT) del Departamento de Tecnologías Industriales (DTI), cuya finalidad se enmarca dentro los planes estratégicos de nuestra unidad, como es la inserción en la sociedad del conocimiento y una revista científica es una plataforma y un vehículo para ello, cumpliendo así con uno de los roles universitarios como es la transferencia del conocimiento.

La necesidad de la Facultad Tecnológica y el convencimiento de la Decanatura respecto de la Internacionalización de nuestras unidades, valoran e impulsan emprendimientos como el presente esfuerzo editorial. Nuestra comunidad académica es miembro activo del metabolismo científico de nuestro país y desde esa perspectiva logra extender y establecer vínculos con las comunidades científicas internacionales a través de estos emprendimientos. La Universidad Santiago de Chile ha logrado avances significativos en los últimos 8 años, logrando posicionarse en el mundo en lugares cada vez más altos en los diferentes rankings internacionales, y como referente en el ámbito nacional, gracias al trabajo colaborativo, la innovación y emprendimiento de su comunidad. Es el deseo de esta Decanatura, que a este primer paso editorial le sigan otros que permitan el logro de la internacionalización de nuestra Facultad y con ello consolidar los esfuerzos de la Universidad por lograr la referencia internacional.

Para finalizar, mis mayores y sinceros deseos de éxito para la revista y todos sus componentes académicos.

**“El emprendimiento y la innovación solo es posible bajo la confianza de nuestras convicciones”**

**Gumercindo Vilca Cáceres  
Facultad Tecnológica 2014-2017  
Decano**

## PRESENTACION DIRECTOR DTI-FACTEC

La implementación de revistas impresas o digitales demanda un esfuerzo que necesariamente debe ser colaborativo, debo agradecer al comité editorial de esta nueva revista denominada Journal of Industrial Neo-Technologies (JINT), por la oportunidad de ser uno de los presentadores de este emprendimiento editorial. El Departamento de Tecnologías Industriales tiene una hermosa experiencia participativa y profesional sobre la gestión editorial. Entre los años 1984 y 1992 el Departamento de Tecnologías Industriales editó y publicó, en soporte papel, 14 números de la que fué su primera revista institucional: "**Mantención & Industria**". Así también, fué la primera iniciativa editorial periódica de la entonces Escuela Tecnológica, hoy Facultad Tecnológica. El propósito de ella, inicialmente, estaba dedicado "al estudio de la **gestión tecnológica** y, en particular, de la problemática del mantenimiento y sus incidencias". Con posterioridad, cinco años después, dicho propósito sufrió un cambio pasando a: "orientar, difundir e informar, a profesionales y técnicos que se desempeñan en las áreas de administración, explotación y conservación de plantas industriales, sobre aspectos técnicos relativos al quehacer propio o de **gestión integrada**". Tremenda tarea si se piensa que, la autorización dada por la Universidad para su edición definitiva, estaba supeditada al autofinanciamiento y a representar a la Universidad de manera apropiada ante el medio productivo nacional. Mencionar que el desafío impuesto fue mayor, toda vez que su distribución sería gratuita. El primero de estos desafíos, llevó a su equipo de operaciones a planificar una estrategia de fidelización del mercado proveedor de productos y servicios en el sector al que apuntaba la revista, para establecer desde allí una condición de operación favorable en lo económico; el que fue en crecimiento sostenido permitiendo comenzar con 500 ejemplares la primera y segunda edición y de 1200 las doce últimas publicaciones. Lamentablemente, el año 1992, este esfuerzo no se pudo prolongar por razones diversas que afectaron al departamento. El segundo de los desafíos, fue cubierto con una adecuada y pertinente propuesta de temas desarrollados por destacados profesionales del ambiente industrial y de académicos de distintas universidades del país, los que contribuyeron a prestigiar la revista en el medio nacional, tal cual era el objetivo del equipo editorial. Más de sesenta trabajos publicados, de diversos temas relacionados con la finalidad de este medio, dieron vida a una publicación que se destacó por su nivel, pertinencia y aporte a la gestión de las empresas, tanto en lo operacional como en el ámbito de la dirección de las mismas. La revista "**Mantención & Industria**" fue una plataforma de suyo importante, no solo al momento que la Universidad resultó elegida como organizador del **III Seminario Nacional de Mantenimiento**, año 1988, sino que también cuando el Departamento debió hacerse responsable de la organización y ejecución del mismo. En este aspecto, la Revista jugó un importante papel en la convocatoria para el desarrollo de este evento, el primero que el Departamento realizare a nivel nacional. Seminario que contó con una masiva participación de profesionales y técnicos -246 fue el registro- tanto en la exposición de trabajos -52 temas en total- como en su discusión en las diferentes salas del Hotel Galerías Nacionales de Santiago. Desde sus comienzos la Revista contó con la entusiasta colaboración de todos los miembros del Departamento de Tecnologías Industriales, quién mas quién menos asumió tareas importantes en ella, con un encomio destacable, algunos aún en ejercicio académico pero otros ya retirados o que han fallecido. Todos están presentes en nuestra memoria, pues la Revista fue un hito en nuestras vidas personales como colectiva. Para los que emprenden una iniciativa como esta, ayer o ahora, no es fácil sin el concurso de un equipo convencido y de alto desempeño, ya que como lo mencionaban editores de la época "el sacar dos números es posible, cuatro se complica, pero catorce es una tarea titánica, cuando no hay "compromiso de equipo.

Sin embargo, debemos reconocer que todo emprendimiento con finalidad modernizadora y actualizadora, que es capaz de observar lo recorrido y aprender de ello, tendrá mucho más oportunidades que los emprendimientos predecesores forjadores del camino.

Desde esta posición reitero mi agradecimiento y solo resta desearles muchos éxitos en una tarea que requerirá de la participación de todos.

Adelante siempre adelante.

Antonio Gutiérrez Osorio  
Revista "**Mantención & Industria**" 1984-1992  
Editor y Coordinador General



# Transmisión de Datos

Luis Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gerente Ingeniería Sistemas CMET, Av. Walker Martinez 911, La Florida, Santiago, Chile.

**Resumen.** El propósito de este artículo es mostrar diferentes aspectos relacionados con la transmisión de datos. Es necesario indicar la gran importancia que tiene la estandarización referente a los sistemas de telecomunicaciones, lo cual permite la comunicación entre equipos de diferentes fabricantes. También es necesario considerar la enorme importancia que tiene – para llegar a comprender en forma ordenada – un modelo de referencia que nos indique los diferentes niveles o capas, que existen en un sistema de comunicaciones.

## 1. Introducción

Es un hecho, sin lugar a dudas, la importancia que tiene en la actualidad la normalización que se ha realizado hasta ahora y que continúa realizándose en el ambiente de las telecomunicaciones. En Chile el organismo gubernamental que regula las telecomunicaciones es la “SUBTEL”, Subsecretaría de Telecomunicaciones, la cual ha emitido las normas aplicables en las redes chilenas, a través de los denominados Planes Técnicos Fundamentales (PTF), los cuales han sido publicados en el diario oficial. A nivel internacional el organismo más importante es el “CCITT” – Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía –, el cual ha publicado sus recomendaciones a través de diferentes emisiones, la última denominada Libro Azul (1988).

## 2. Organismos Normalizadores Internacionales

En la figura 1 se muestran algunas de las organizaciones internacionales más importantes en la estandarización de comunicaciones de datos y a continuación una descripción de cada una de ellas.

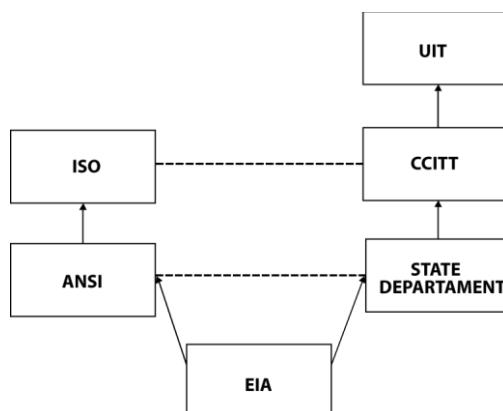


Fig. 1. Principales Organizaciones Internacionales de Estandarización de Comunicaciones de Datos.

### **2.1. CCITT: Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía**

Es una organización de estandarización que está bajo la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, una Agencia de las Naciones Unidas. El CCITT es la Organización Primaria para el desarrollo de estándares aplicables a los sistemas de comunicaciones de datos y telefonía entre los gobiernos participantes.

El CCITT es el responsable del desarrollo de los estándares:

- ❖ x.25 (Red de paquetes)
- ❖ RDSI (Red de Servicios Integrados)

El “CCITT” está estructurado en varios niveles de miembros. En un primer nivel encontramos por ejemplo que Estados Unidos lo hace a través del Departamento de Estado; en un segundo nivel de miembros existen las Organizaciones de Servicio de Telecomunicaciones tales como AT & T y GTE; en un tercer nivel incluyen los miembros de Organizaciones Industriales y Científicas; un cuarto nivel incluye Organizaciones en otros campos y que están interesados en los trabajos del CCITT. La “SUBTEL” Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile se basa en las recomendaciones del “CCITT” para establecer las normas técnicas de la Red Chilena. Estas normativas se encuentran en los denominados “PTF” o Planes Técnicos Fundamentales, los cuales han sido publicados por el Diario Oficial.

### **2.2. ISO: Organización de Estándares Internacionales.**

El ISO es una organización voluntaria consistente en Comités de Estándares Nacionales de cada uno de los países miembros. El ISO coordina sus actividades con el CCITT en emisiones conjuntas. ISO ha producido varios estándares bien conocidos como el HDLC (High Level Data Link Control).

La organización tiene subcomités y grupos trabajando con el “CCITT” y el “ANSI” para desarrollar estándares para encripción, comunicaciones de datos, redes públicas de datos, y el bien conocido modelo de referencia para interconexión de sistemas abiertos OSI (Open Systems Interconnection).

### **2.3. EIA: Asociación de Industrias Electrónicas.**

La Asociación de Industrias Electrónicas “EIA” es una Asociación Americana que tiene bastante influencia en el desarrollo de Estándares en Norteamérica.

El trabajo de la EIA está enfocado primariamente en la estandarización eléctrica, sus estables más notables incluyen las normas RS2332C y RS449.

#### **2.4. ANSI: (American National Standards Institute).**

El “ANSI” es una corporación voluntaria en los Estados Unidos y es miembro de la ISO. Este desarrolla estándares por sí mismo y también acepta estándares de otras organizaciones de los Estados Unidos.

Entre sus trabajos esta la estandarización en lenguajes de programación tales como “Cobol” y Fortran y últimamente en lenguaje “C”.

### **3. Modelo de Referencia para Interconexión de Sistemas Abiertos.**

Un modelo es una representación o simplificación que hace a un concepto más comprensible. Para comprender modelos de sistemas complejos, es importante dividir las estructuras en partes fácilmente comprensibles. Los sistemas de transmisión de datos se consideran a menudo estratificados en capas de funciones. En la figura 1.2 se demuestra en forma esquemática un modelo de referencia para interconexión de sistemas (ISA). Aceptados por las principales entidades normalizadoras. Para un estudio más completo se pueden encontrar en las recomendaciones x 200 del CCITT.

### **4. Conceptos Básicos de Comunicaciones de Datos.**

Los datos son almacenados en computadores y transmitidos a través de un sistema de comunicaciones en la forma de dígitos binarios, o Bits. Los dígitos pueden ser unos (1) o ceros (0) y son codificados de acuerdo con el sistema numérico binario (Base 2).

Los Bits binarios internamente en un computador se representan por niveles de tensión eléctrica. Una señal de nivel-alto dentro de un elemento de memoria podría representar en un 1; una señal de nivel-bajo, un cero. Estos elementos son enlazados en grupos para formar números y caracteres; tales como el numero 6 o la letra A, de acuerdo a códigos establecidos.

Los datos son transmitidos a través de los enlaces de comunicaciones (Red Telefónica por ejemplo) en la forma de señales que son secuencias de Bits que representan números y caracteres.

Estas señales pueden ser por ejemplo eléctrica, óptica, etc. en forma general este flujo de Bits puede ser dividido en datos de control y datos de usuario (texto). Los datos de control son usados para controlar la Red y el flujo de datos del usuario.

#### **4.1. Velocidad de Transmisión (BPS) y Razón de Cambio de una Señal (BAUD).**

En la figura 3 se muestra una forma particular de transmisión de datos a través de un canal de comunicaciones desde un equipo transmisor hasta un equipo receptor.

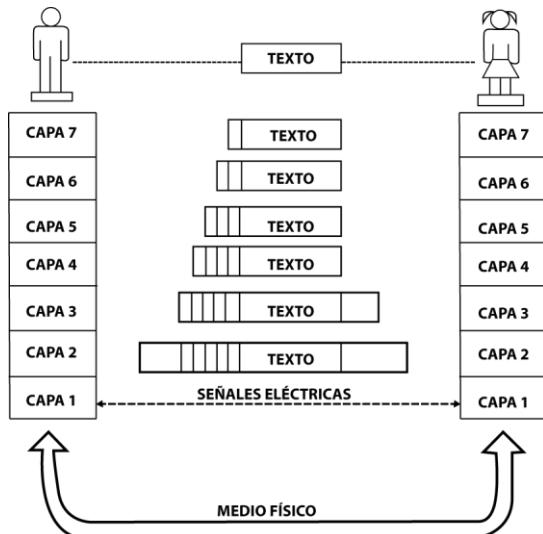


Fig. 2. Modelo de referencia para interconexión de sistemas abiertos.

En comunicación de datos un término bastante común es el “Baud” el cual describe la razón de cambio de la señal en el canal de transmisión, esto es, cuantas veces (por segundo) la señal cambia su patrón. En la figura 3, el dispositivo de transmisión ensambla los Bits en grupos de a dos y entonces modifica la forma de la onda oscilatoria (esto es, cambia el estado de la señal) a una de las cuatro amplitudes para representar cualquier combinación de dos Bits (00, 01, 10, 11). En este ejemplo, la razón de transferencia de Bits (BPS = Bit por segundos) en dos veces la razón de cambio de la señal (BAUD).

#### 4.2. Modem (Modulador – Demodulador).

El proceso de la figura 4, se denomina “Modulación”. Esto simplemente significa que el flujo de datos cambia o modula la señal para adaptarla al canal o enlace de comunicación, en la recepción de señal recibida debe volverse a su patrón digital original, este proceso se denomina demodulación.

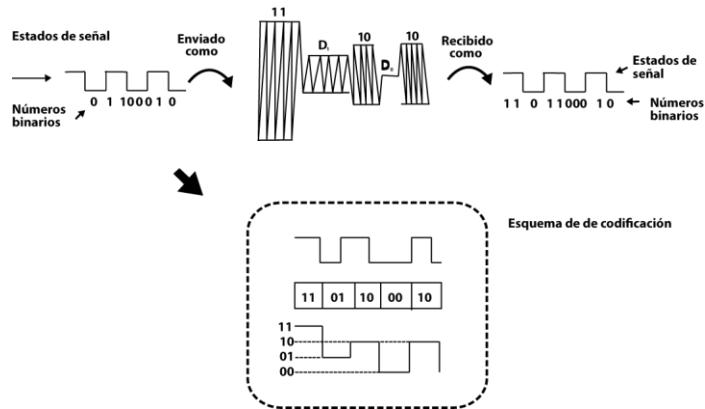


Fig. 3. Transmitiendo datos.

Un dispositivo que tiene la capacidad de realizar dos funciones se denomina Modem.

En la figura 5, se muestran los componentes básicos de un modem. La palabra MODEM está formada por las silabas iniciales de MODulador y DEModulador. Los módems se clasifican de diversas formas. Hay módems de diferentes tipos de modulación; por ejemplo, FSK y PSK. Hay módems sincrónicos y asíncronos. Hay modems de diferentes normas, como por ejemplo normas del CCITT y BELL.

En la Tabla 3.1, se muestran los valores normalizados de las frecuencias para un modem normas Bell 103.

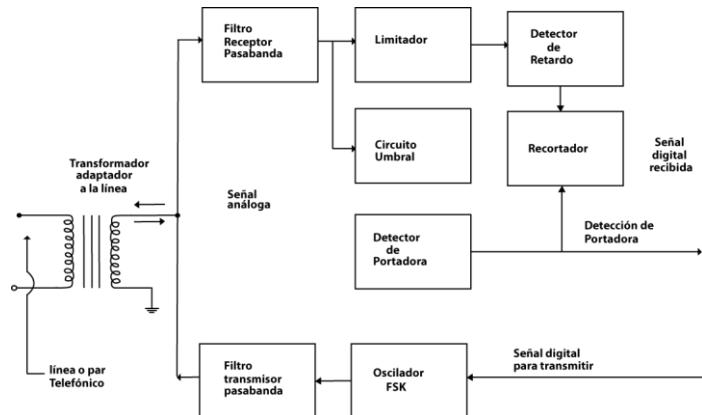


Fig. 4. Diagrama en bloqueo de un modem modulación FSK.

Tabla 1. Modem 300 Baudios, asincrónico, Normas Bell 103.

Frecuencias de Recepción	A. Respuesta marca 1220 Hz B. Originador marca 2225Hz espacio 2025Hz	Frecuencia de Transmisión	A. Respuesta marca 2225Hz espacio 2025Hz B. Originador marca 1220Hz espacio 1070 Hz
--------------------------	---	---------------------------	--

El par telefónico está terminado en un transformador adaptador de impedancias. El secundario del transformador está conectado a las partes receptoras y transmisoras como muestra el diagrama. La señal de salida, a transmitir, podría afectar la sección receptora debido a que las frecuencias de transmisión y recepción están en bandas diferentes (modos, origen y respuesta). Los filtros pasabanda rechazan ruidos y frecuencias espúreas. El limitador elimina variaciones de amplitud. Un detector de retardo proporciona una muestra retardada de la señal, compara esta con la señal de salida y entrega una salida que es proporcional a la diferencia de frecuencia. El recortador le da la forma definitiva a la señal digital recibida. El conjunto circuito umbral con el detector de portadora indica la recepción de portadora.

Cuando la información está siendo transmitida, el tren de pulsos digitales en serie se aplica al oscilador de desplazamiento de frecuencias, el cual produce las frecuencias de audios de tonos desplazados que representan los unos y ceros. Estas señales son filtradas de tal forma de eliminar armónicos espúreos, y son pasadas a través del transformador adaptador de impedancias para la línea telefónica.

#### 4.3. Transmisión de datos a través de una red digital (RDSI).

La transmisión de datos se puede realizar en un ambiente completamente digital. En la actualidad existen teléfonos digitales que pueden realizar las funciones de voz y transmisión de datos en forma simultánea y por un solo par telefónico común.

En la figura 6, se muestra un diagrama de bloques de este nuevo tipo de teléfonos digitales que inicialmente se empezó a utilizar en empresas privadas y actualmente se empieza a aplicar en la telefonía pública. Nótese que en este caso el modem empieza a quedar obsoleto.

Una persona puede realizar una llamada de voz a través del teclado del teléfono digital o puede “llamar” o recibir “llamadas” de datos a través del terminal o computador, el cual tiene cargado un Software de Comunicaciones.

La persona puede estar conversando y simultáneamente accesando un computador “Host” a través de su terminal de datos.

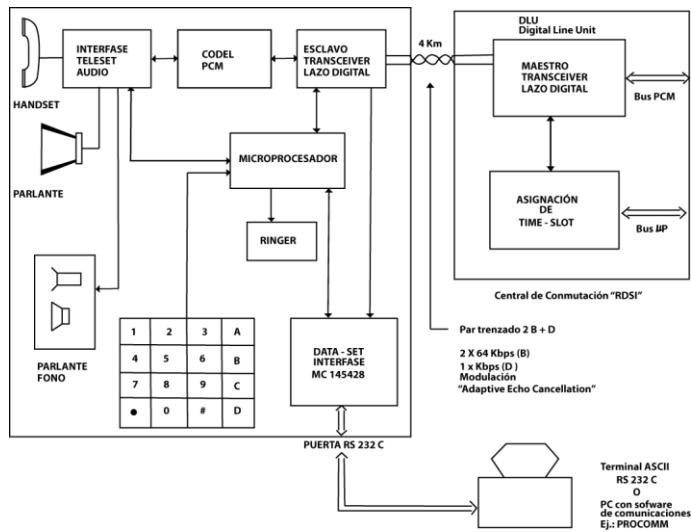


Fig. 5. Diagrama de un Teléfono Digital con voz y datos.

#### 4.4. Modos de operación de datos.

En la Figura 3.4 se muestran los modos de transmisión de datos y sus significados.

Estos modos se utilizan cuando un enlace se realizaba en comunicación análoga y con módems para adaptarse al canal. Actualmente en comunicación digital los datos podrían transmitirse multiplexados en el tiempo y para el usuario percibir la trasmisión como Full – Dúplex.

#### 4.5. Formas básicas de transmitir datos.

En la actualidad hay varias formas de transmitir datos:

Uso de circuitos privados (dedicados) en la banda de voz mediante la utilización de módems.

Concepto de virtud del cual las relaciones entre una red y los servicios que esta pueda soportar están representadas por una jerarquía de capas de protocolo. Cada capa contiene una o más funciones, circunscritas entre una frontera lógica superior y una inferior. Cada capa emplea los servicios que se ponen a disposición de las capas más altas.

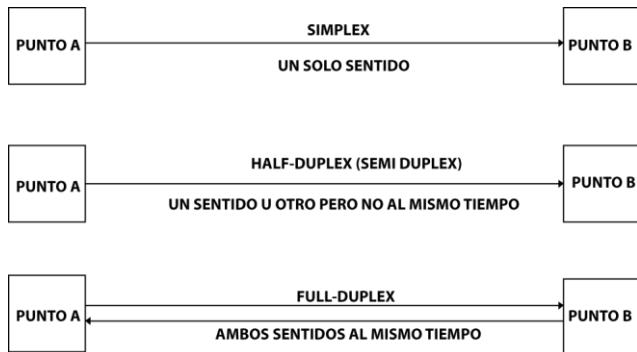


Fig. 6. Modos de Operación de un Enlace de Datos.

Las siguientes designaciones resumen sucintamente las capas del modelo:

- ❖ Capa 1 (Física). Incluye la transmisión de señales y la activación y desactivación de las conexiones físicas.
- ❖ Capa 2 (Enlace). Incluye la sincronización y cierto control de la influencia de los errores dentro de la capa física.
- ❖ Capa 3 (Red). Incluye las funciones de encaminamiento y commutación.
- ❖ Capa 4 (Transporte). Utiliza las capas 1 a 3 para proporcionar un servicio extremo a extremo de las características requeridas para las funciones de la capa superior.
- ❖ Capa 5 (Sesión). Permite que las entidades de presentación organicen y sincronicen su dialogo y gestionen su intercambio de datos.
- ❖ Capa 6 (Presentación). Incluye el establecimiento del formato de los datos y la conversión de código.
- ❖ Capa 7 (Aplicación). Proporciona los medios para que los programas del usuario accedan al entorno ISA; puede contener partes de los dichos programas de usuario.
  - Uso de circuitos privados (dedicados) en la banda de voz mediante la utilización de Modems.
  - Uso de circuitos privados digitales 64 Kbps ó 2.48 Kbps mediante adaptadores de comunicaciones.
  - Uso de la red digital (RDSI) commutada mediante la utilización de teléfonos digitales con “DATA” o mediante adaptadores de comunicaciones.
  - Utilización de otros tipos de redes de datos como la red de commutación de paquetes o la red telex.

## **5. Medios de transmisión de datos.**

### **5.1. Introducción.**

El medio de transmisión es la facilidad física utilizada para interconectar equipos de transmisión de datos. Los medios físicos pueden dividirse en transmisión espacial aérea y física terrestre.

#### **Enlaces físico terrestre.**

- Par de cables trenzados
- Cable coaxial banda angosta
- Cable coaxial banda ancha
- Fibra óptica

#### **Enlaces espacio aéreo.**

- Microondas
- Infrarrojo
- Láser
- Radio frecuencia

El medio más utilizado es el par de cables trenzados utilizado en telefonía. El medio físico que está creciendo en aplicaciones de data es por fibra óptica. Estos dos medios serán descritos a continuación.

### **5.2. Par de cables trenzados.**

Los conductores son descritos por su tamaño. La normalización americana es el sistema AWG (American Wire Gauge). Valores de AWG mas altos indican conductores de menor calibre. A continuación hay tablas, de las características eléctricas y códigos de colores más importantes.

El bucle del abonado telefónico utiliza calibre que van normalmente del AWG-22 al AWG-26. Líneas troncales entre centrales de conmutación utilizan normalmente AWG-19.

### **5.3. Fibra óptica.**

Los sistemas con fibra óptica ofrecen cuatro ventajas sobre los sistemas típicos de cable metálico:

- Características de comportamiento

- Inmunidad eléctrica
- Tamaño y peso
- Seguridad

#### ❖ Características del comportamiento

Los sistemas basados en fibra óptica ofrecen mejor ancho de banda, lo que permite que altos volúmenes de información a una gran velocidad pueden ser transmitidos. Velocidades de información de 90 Mbps y más son indicadores de la ventaja de la fibra. La fibra óptica también introduce perdidas de potencia en la señal óptica pero son bajas. Lo cual minimiza la necesidad de usar repetidores generativos en aplicaciones de larga distancia.

#### ❖ Inmunidad al ruido eléctrico

La fibra óptica es un conductor no metálico. De esta forma no es afectada por emisiones electromagnéticas (EMI) o por interferencia de radiofrecuencia (RFI). De esta forma el “cross-talk” es eliminado.

Tamaño reducido y bajo peso. Un solo cable conductor de fibra óptica pesa cerca de 9 Ibs por 1000 pies. Un cable coaxial similar pesa 80 Ibs por 1000 pies, cerca de nueve veces más.

Mayor seguridad. Los enlaces de fibra óptica no son fácilmente monitoreables para espionar la información transmitida.

Tabla 2. Características eléctricas de los pares trenzados telefónicos.  
Resistencia eléctrica de los conductores medida en corriente continua y corregida a 20°C no excede de:

AWG	OHMS/Km-Par Máxima
19	57,2
22	115,6
24	180,2
26	285,5

#### ❖ Desbalance de resistencia.

No excede 4% para calibre 19 y 22 AWG, ni 5% para calibres 24 y 26 AWG como valores individuales entre 2 conductores de un par.

El valor promedio no excede de 1,2% para calibres 19 y 22 y de 1,5% para calibres 24 y 26 AWG.

- Resistencia de aislación.

Mínima 5000 Megohms/Km medido aplicando 500 volt de corriente continua a 20°C, durante 1 minuto.

- Capacidad mutua.

El valor promedio medido a 1 KHz  $\pm$  10% para cables de 18 pares o más, es de 0,052  $\pm$  0,004  $\mu\text{f}/\text{Km}$ .

- **Desbalance de capacidad:**

Los desbalances máximos de capacidad entre pares adyacentes medidos a 1 KHz  $\pm$  10% no excederán de: par a par promedio máx. 20 F/305 mts. máx. individual 80  $\mu\text{F}/305$  mts.

Si la medición se efectúa sobre longitudes diferentes a 305 mts. el desbalance corregido será:

$D_o$  = Desbalance original

$D$  = desbalance corregido

$L$  = Largo del cable

$$D = \frac{D_o}{\sqrt{\frac{L}{305}}} \quad (1)$$

Tabla 3. Características eléctricas de los pares telefónicos (Cont.)

- **Rigidez dieléctrica:**

La aislación soporta una prueba de voltaje continuo entre conductores, durante 3 segundos se:

Tabla 3. Tabla de rigidez dieléctrica

AWG	Volts
19	4500
22	3600
24	3000
26	2400

La aislación entre conductores y pantalla soporta durante 3 segundos la prueba de voltaje continuo de:

Tabla 4. Tabla de aislamiento

AWG	Volts
19	10000
22	10000
24	5000
26	5000

- **Atenuación:** No excede de los valores máximos indicados cuando es medido a: 1 KHz  $\pm$  10%.

Tabla 5. Tabla de atenuación

AWG	Decibeles/Loop/km
19	0,81
22	1,15
24	1,44
26	1,78

Tabla 6. Tabla de pares extra

Nº pares nominales	Nº pares extras	Nº pares nominales	Nº pares extras
3	-	75	1
6	-	100	1
12	-	150	2
18	-	200	2
25	1	300	3
31	1	400	4
37	1	600	6
50	1	900	9

Tabla 7. Código pentaconta 100/2 pares telefónicos.

Par	Color	Acompañante	Par	Color	Acompañante
1	Azul	Blanco	21	Azul	Rojo-Blanco
2	Amarillo	Blanco	22	Amarillo	Rojo-Blanco
3	Marrón	Blanco	23	Marrón	Rojo-Blanco
4	Negro	Blanco	24	Negro	Rojo-Blanco
5	Verde	Blanco	25	Verde	Rojo-Blanco
6	Azul-Bco.	Blanco	26	Azul-Bco.	Rojo-Blanco
7	Azul-Amar.	Blanco	27	Azul-Amar.	Rojo-Blanco
8	Azul-Mar.	Blanco	28	Azul-Mar.	Rojo-Blanco
9	Azul-Negro	Blanco	29	Azul-Neg.	Rojo-Blanco
10	Azul-Verde	Blanco	30	Azul-Verde	Rojo-Blanco
11	Ama.-Bco.	Blanco	31	Ama.-Bco.	Rojo-Blanco
12	Ama.-Mar.	Blanco	32	Ama.-Mar.	Rojo-Blanco
13	Ama.-Neg.	Blanco	33	Ama.-Neg.	Rojo-Blanco
14	Ama.-Verd.	Blanco	34	Ama.-Verd.	Rojo-Blanco
15	Mar.-Bco.	Blanco	35	Mar.-Bco.	Rojo-Blanco
16	Marg.-Neg.	Blanco	36	Marg.-Neg.	Rojo-Blanco
17	Mar.-Ver.	Blanco	37	Mar.-Ver.	Rojo-Blanco
18	Neg.-Bco.	Blanco	38	Neg.-Bco.	Rojo-Blanco
19	Neg.-Ver.	Blanco	39	Neg.-Ver.	Rojo-Blanco
20	Ver.-Bco.	Blanco	40	Ver.-Bco.	Rojo-Blanco
Par	Color	Acompañante	Par	Color	Acompañante
41	Al Idem	Rojo-Negro	61	Al Idem	Rojo
60	Al Idem	Rojo-Negro	80	Al Idem	Rojo
81	Al Idem	Azul-Rojo			
100	Al Idem	Azul-Rojo			

Tabla 8. Código paso a paso 100/2 de pares telefónicos.

Par	Color	Acompañante	Par	Color	Acompañante
1	Azul	Blanco	16	Azul	Amarillo
2	Naranja	Blanco	17	Naranja	Amarillo
3	Verde	Blanco	18	Verde	Amarillo
4	Marrón	Blanco	19	Marrón	Amarillo
5	Gris	Blanco	20	Gris	Amarillo
6	Azul	Rojo	21	Azul	Lila
7	Naranja	Rojo	22	Naranja	Lila
8	Verde	Rojo	23	Verde	Lila
9	Marrón	Rojo	24	Marrón	Lila
10	Gris	Rojo	25	Gris	Lila
11	Azul	Negro	-	-	-
12	Naranja	Negro	26	Al Idem.	Idem.
13	Verde	Negro	100	Al Idem.	Idem.
14	Marrón	Negro			
15	Gris	Negro			

Nota: El Multipar de 100/2 tiene cuatro grupo de 252 c u, los cuales van separados por cintas.

Grupo 1: Franja Azul; Grupo 2: Franja Naranja; Grupo 3: Franja Verde; Grupo 4: Franja Marrón. A veces se acompañan con franjas blancas.

Tabla 9. Código Stronber Carson de 100/2 de pares telefónicos.

Par	Color	Acompañante
1	Azul-Blanco	Blanco-Azul
2	Naranja-Blanco	Blanco-Naranja
3	Verde-Blanco	Blanco-Verde
4	Marrón-Blanco	Blanco-Marrón
5	Gris-Blanco	Blanco-Gris
6	Azul-Rojo	Rojo-Azul
7	Naranja-Rojo	Rojo-Naranja
8	Verde-Rojo	Rojo-Verde
9	Marrón-Rojo	Rojo-Marrón
10	Gris-Rojo	Rojo-Gris
11	Azul-Negro	Negro-Azul
12	Naranja-Negro	Negro-Naranja
13	Verde-Negro	Negro-Verde
14	Marrón-Negro	Negro-Marrón
15	Gris-Negro	Negro-Gris
16	Azul-Amarillo	Amarillo-Azul
17	Naranja-Amarillo	Amarillo-Naranja
18	Verde-Amarillo	Amarillo-Verde
19	Marrón-Amarillo	Amarillo-Marrón
20	Gris-Amarillo	Amarillo-Gris
21	Azul-Lila	Lila-Azul
22	Naranja-Lila	Lila-Naranja
23	Verde-Lila	Lila-Verde
24	Marrón-Lila	Lila-Marrón
25	Gris-Lila	Lila-Gris

Nota: El multiplicar de 100/2 tiene cuatro grupos de 25 2 cu, los cuales van separados por cintas. Grupo 1: Franja Azul; Grupo 2: Franja Naranja; Grupo 3: Franja Verde; Grupo 4: Franja Marrón, a veces se acompañan con Franja Blanca.

#### ❖ Estructura de la Fibra Óptica.

Núcleo (Core): Esta es el área de transmisión de la fibra, puede ser de vidrio o plástico. Capa (Cladding) de Reflexión. Esta es la zona límite de la fibra. Su función es proporcionar una superficie de índice de refracción diferente a la del núcleo con el propósito de producir la reflexión de la luz dentro de la fibra.

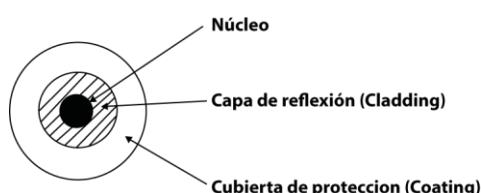


Fig. 7. Estructura de la fibra óptica.

Cubierta (Coating) de Protección. La cubierta de protección generalmente son varias capas de plástico aplicadas con el propósito de proteger la fibra a los esfuerzos que será sometida en su instalación y operación.

#### ○ Tamaño de la Fibra

El tamaño de una fibra óptica es generalmente definido por los diámetros externos de núcleo y capa de reflexión.

La cubierta de protección no interesa en este caso, pues no está relacionada directamente a la transmisión de la luz.

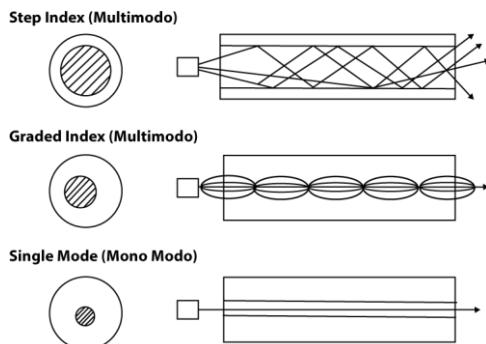


Fig. 8. Representación gráfica de como los rayos viajan en los tres tipos de fibras.

#### ○ Tipos de Fibra

Los tipos de fibra son identificados por los caminos que realizan los rayos de luz dentro de la fibra.

Hay dos tipos de fibra multimodo:

- Step Index Núcleo con: 100, 200, 300 m
- Graded Index Núcleo con: 50-62,5-85-100 m

Y una sola de la categoría monomodo:

- Single Modo Núcleo con: 5-10 m

Step Index deriva su nombre debido a que hay un solo cambio abrupto en el índice de refracción al pasar del núcleo a la capa de reflexión.

Graded Index deriva su nombre debido a que hay varios cambios del índice de refracción en el núcleo y finalmente al pasar a la capa de reflexión.

Single Mode permite solamente un solo rayo de luz o un modo de ser transmitido por el núcleo.

La figura muestra en forma gráfica el comportamiento de los rayos de luz a través de la fibra óptica.

#### ○ Ventanas de transmisión

Las regiones favorables para la transmisión dentro del espectro óptico son denominadas “Windows”, la región de los 800 a 900 nanómetros (longitud de onda) es la primera ventana, de 1100 a 1300 nanómetros es la segunda ventana, y cerca de los 1550 nanómetros se denomina la tercera ventana.

Las menores perdidas ocurren en la región del infrarrojo cerca de los 1300 nanómetros y nuevamente alrededor de los 1550 nanómetros.

Perdidas de la potencia para las diferentes longitudes de onda ocurren en la fibra debido a absorción, reflexión y dispersión. Esto ocurre a través de la distancia dependiendo de la fibra específica, su tamaño, pureza e índices de refracción.

La cantidad de potencia óptica perdida se expresa como una razón de atenuación en decibeles de potencia óptica por kilómetro (Db/Km).

Las fibras están optimizadas para operar en ciertas longitudes de onda. Por ejemplo, perdidas menores que 1 Db/km se obtienen en fibras multimodo de 50/125 n operando a 850 nm.

Estas dos regiones, 850 a 1300 nm, son las más utilizadas para la transmisión de datos en estos días.

Los instrumentos más utilizados en la instalación de fibra óptica son: medidores de potencia óptica, generadores de luz a 850/1300 nm, conectores adaptadores según la aplicación. Las herramientas especiales a utilizar son las que se aplican para realizar la unión entre dos fibras, en este caso hay herramientas para realizar la unión por fusión denominadas “Splicer” y también conectores especiales y herramientas para realizar la unión mecánica.

#### ○ Funciones realizadas por un sistema de transmisión de fibra óptica

Cuatro son las funciones genéricas de los sistemas de transmisión por fibra óptica en las redes públicas de telecomunicaciones: Ver figura 10.

- Terminación de canal
- Interfase óptico
- Reencaminamiento de tráfico
- Gestión y mantenimiento

#### ○ Terminación de Canal

Proporciona el interface eléctrico para los canales de menor velocidad (de 64 Kbps o 2 Mbps) que transporta el sistema. La terminación de canal realiza las siguientes funciones:

- Sincronización de señales fuentes
- Multiplexación y conversión de códigos
- Monitoreo y protección
- **Interface Óptico**

Adapta las señales procedentes de la terminación de canal. Para su transporte por la fibra óptica. El interface óptico realiza las siguientes funciones:

- Conversión eléctrico/óptica y viceversa
- En algunos casos Multiplexación
- Mantenimiento

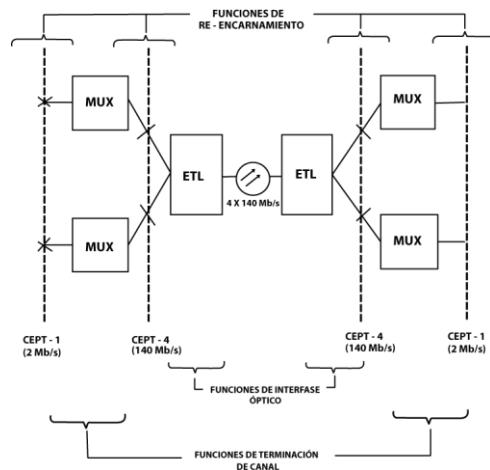


Fig. 9. Funciones de un sistema de transmisión por fibra óptica.

- **Reencaminamiento**

Ejecuta el Reencaminamiento de canales a nivel eléctrico debido a restauraciones de un enlace fuera de servicio. Las funciones realizadas en este nivel son:

- Conmutar canales ofreciendo un canal alternativo frente a las condiciones de tráfico.
- Reiniciación de funcionamiento de canales cuando entra un servicio algún canal.

- **Gestión y Mantenimiento**

Permite reconocer el estado y tomar acciones sobre los elementos de la red, sus funciones incluyen:

- Mantención (alarmas, diagnósticos, informar al bloque de reencaminamiento)
- Administración

## 6. Disciplinas de Comunicaciones.

### 6.1. Introducción.

Esta sección presenta un resumen de las principales disciplinas de líneas o protocolos de comunicaciones.

El término protocolo, en forma básica, define como los componentes de una red establecen una comunicación, intercambian datos y terminan las comunicaciones, tal como un protocolo diplomático define las reglas de una conversación social.

El cuadro 5.1 muestra un resumen de algunos de los protocolos de transmisión de datos más importantes.

En general, una primera división originada por la capa física en la de transmisión en paralelo y en serie siendo esta última subdividida en transmisión serie asincrónica y transmisión serie sincrónica.

- ❖ Transmisión paralela
  - Centronics
  - Buses Asíncronos
  - Transferencia entre registros de memorias y CPU.
  - Engral. Utilizada para transmisión a distancias cortas (2 mts.)
- ❖ Transmisión serie:
  - Asíncrona
    - Télex Loop 20 miliamper código Baudot
    - EIA RS 232 C
    - Código ASCII
    - Síncronica
      - Orientados al Bit
        - ✓ IBM SDLC (SNA)
        - ✓ ISO HDLC
      - CCITT X.25
    - Orientados al Byte
      - ✓ IBM BSC
      - ✓ DEC DDCMP
      - ✓ DMI AT & T

DEC	: Digital Equipment Corporation
DDCMP	: Digital Data Communication Message Protocol
ANSI	: American National Standards Institute
ISO	: International Standards Organizations
CCITT	: Comité Consultivo International Telegráfico y Telefónico
DMI	: Digital Multiplexed Interfase
AT & T	: American Telephone and Telegraph Company

## 6.2. Transmisión en paralelo

En la figura 11, se muestra la forma en que se realiza la transmisión en paralelo bajo el protocolo “Handshake”. El sistema transmisor primero coloca el dato en el Bus y después de un tiempo envía un pulso de enganche (Strobe), el cual es utilizado de reconocimiento (Acknoledge) de recepción de información. Este último pulso a veces no es utilizado. Este protocolo es utilizado por la mayoría de las interfases de impresoras paralelas.

## 6.3. Transmisión serie asincrónica

En la figura 12, se muestra la forma en que se realiza la transmisión de un carácter bajo el protocolo serie Asincrono. Los niveles de tensión utilizados son los que encontramos en las interfases serie RS 232-C. La “Sincronización” de la información se realiza con los hits de partida y de parada.

Cuando no se está transmitiendo datos el nivel que toma la línea es aproximadamente:-12 volts. Los tiempos mostrados son los que encontraríamos si la velocidad de transmisión es 300 Bps, para la transmisión de un carácter se necesita 10 Bits = 1 Bit de partida + 8 Bits del carácter + 1 Bit de parada. De esta forma a 300 Bps podemos transmitir 30 caracteres por segundo.

## 6.4. Transmisión serie sincrónica.

La figura 13, se muestra la forma en que se puede transmitir un carácter en forma serie sincrónica. Nótese la señal adicional de sincronización denominada clock se puede ir almacenando los Bits en el receptor. Nótese que aquí no se informa dónde comienza y termina un carácter, por lo cual es necesario definir esta sincronización. De esta última necesidad se origina los protocolos orientados al Bit y los orientados al Byte.

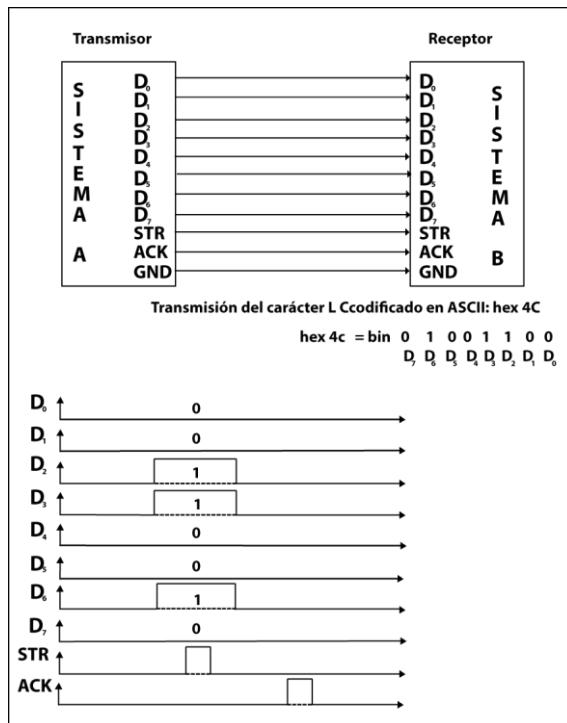


Fig. 10. Transmisión paralela protocolo Handshake.

### 6.5. Protocolo de Comunicaciones sincrónica binaria (BSC).

El protocolo de comunicaciones sincrónicas más utilizado hasta hace poco tiempo, se conoce como “BSC” Binary (Sincardnous) el cual fue desarrollado por la IBM. En un comienzo fue diseñado para usar código “EBCDIC” pero luego se le agrego el código “ASCCI”. En la figura 12, se muestra el formato típico de un mensaje “BSC”. En la figura 13, se muestra la forma general de la transmisión completa de un mensaje “BSC”, en las tablas 10 y 11 hay una explicación de los significados de los diferentes tipos de caracteres.

### 6.6. Protocolo de comunicaciones sincrónicas “SDLC”.

Este protocolo sincrónico fue introducido por la IBM el año 1973. Este es bastante similar como el “HDLC”.

El mensaje “SDLC” se transmite a través de línea en un formato específico denominado trama (frame). La figura 5.6 muestra la estructura de un mensaje SDLC.

Los Flags de comienzo y de término consisten de patrones de 8 Bits de la forma 01111110. Estos campos sirven como referencias para el comienzo y el término de la trama. El Flag de término puede servir de comienzo para la próxima. Múltiples Flag pueden ser repetidos para mantener el estado de la línea activa cuando no está transmitiendo mensaje.

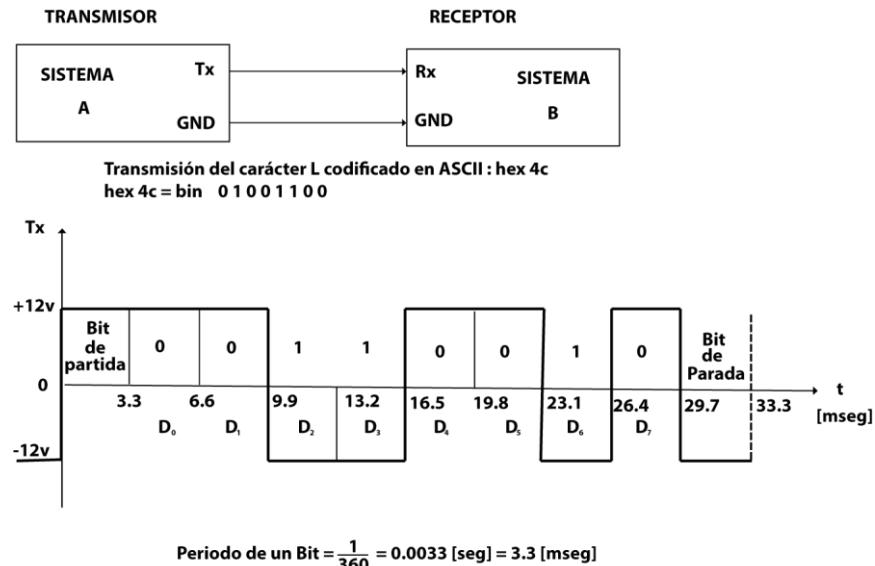


Fig. 11. Transmisión serie asíncrona (transmisión 300 BPS).

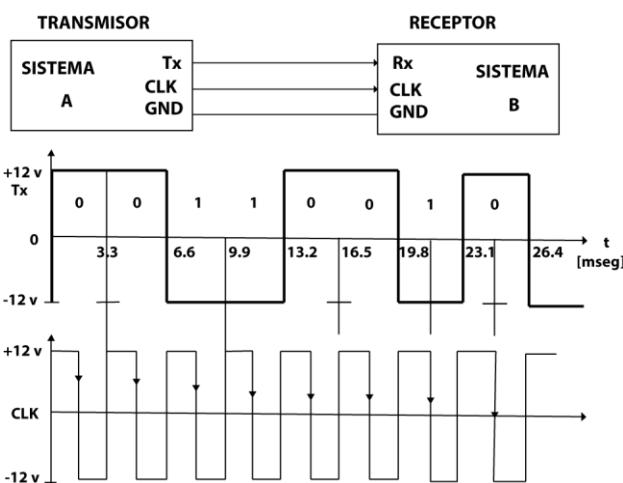


Fig. 12. Transmisión serie sincrónica (transmisión 300 BPS).

Tabla 10. Carácteres de control de transmisión de BSC.

Carácter	Nombre	Propósito
SYN	Sincronización	Provee un patrón de bits requerido para la sincronización de la estación receptora. También se usa para relleno.
ENQ	Inquiere	Requerimiento de respuesta; solicitud de control de línea y a veces fin anormal de texto.
SOH	Encabezamiento	Inclusión de datos auxiliares precediendo al texto del mensaje.
STX	Comienzo de texto	Comienzo de los datos en el bloque.
NAK	Reconocimiento negativo	Detección de un error en un bloque de datos. También significa condición “no listo”.
ETB	Fin de la transmisión del bloque	Fin de un bloque... y sigue mas.
ETX	Fin de texto	Como ETB, pero no sigue mas bloques.
EOT	Fin de la transmisión	La estación no tiene datos.
DLE	Escape de enlace	Uso múltiple como carácter modificador del control.
ITB	Fin de bloque intermedio	Como ETB, salvo que la estación receptora no hará reconocimiento luego del chequeo de error.

Tabla 11. Carácteres de control de secuencia en BSC.

Carácter	Nombre	Propósito
ACKØ	Reconocimiento positivo.	Usados alternativamente para reconocer la recepción correcta de bloques de datos. ACKØ para bloques pares, ACK1 para impar. ACKØ También se usa como respuesta positiva a un intento de control de línea.
DLE EOT	Desconexión Obligatoria.	Usado en una línea discada para indicar que la estación transmisora está “colgando” y por lo tanto la receptora debe hacer lo mismo.
TTD	Demora temporaria del texto.	Cuando la estación emisora, el control, no tiene aún listo el siguiente bloque para envío. Evita el “TIEMPO CUMPLIDO”.
WACK	ACK y espere antes de transmitir.	Transmitido por una estación receptora como reconocimiento positivo y para indicar que aún no está disponible para aceptar otro bloque
RVI	Interrupción de reversión	Transmitido en lugar de un reconocimiento positivo, indicando la necesidad de evitar un mensaje de alta prioridad a la estación que tiene el control de la línea.

### 6.7. 5.6. Protocolo de comunicaciones “HDLC”.

El “HDLC” es soportado por muchos grupos de estándares (ejemplos: CCITT, ISO, ANSI), y es utilizado por muchos fabricantes de equipos. En la Figura 5.7 se muestra la trama del formato de un mensaje HDLC.

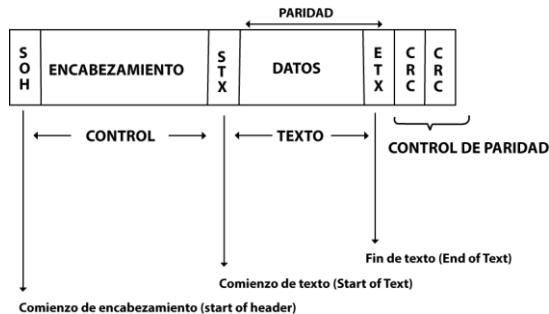


Fig. 13. Ejemplo de un mensaje BSC.

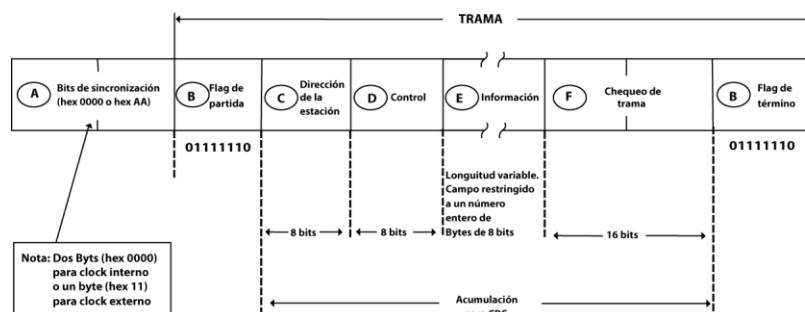


Fig. 14. Formato de un mensaje SDLC: Synchronous data link control.

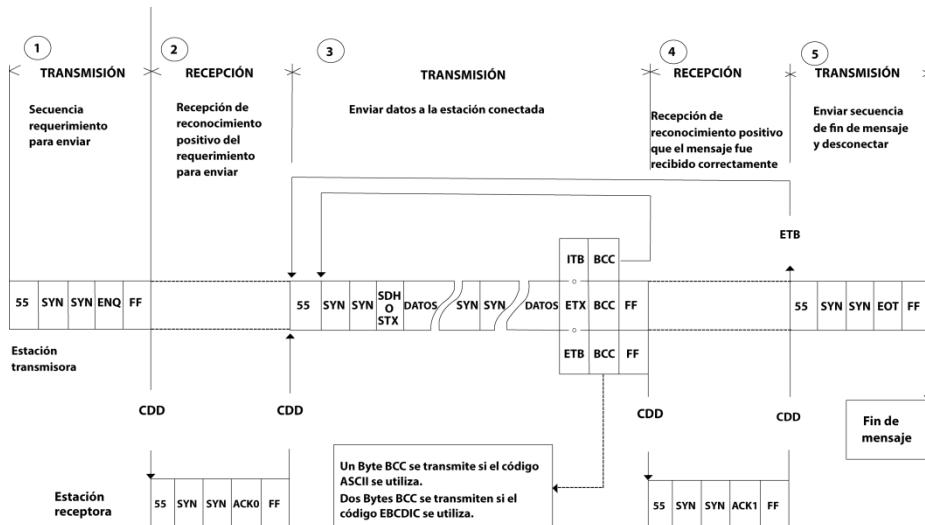


Fig. 15. Formato transmisión completa mensaje BCS: Binary sun chronous communications.

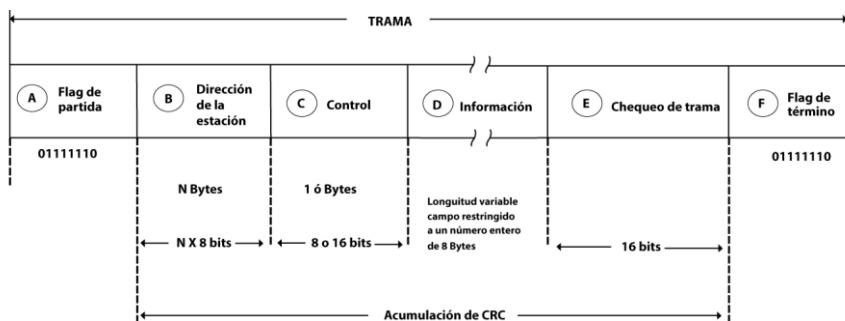


Fig. 16. Formato de una trama HDLC: High level data link control (150). Disciplina utilizada para implementar sistemas de comutación de paquetes: (CCITT-X.25).

## 6.8. Protocolo de comunicaciones “DMI” (Digital Multiplexed Interfase).

Este protocolo fue licenciado por la AT & T y promovido por fabricantes como Hewlett-Packard, Wang y Rockwell.

Además de las versiones americanas del “DMI” existen las versiones para los estándares europeos. La versión europea soporta “30B+D” donde cada uno de los 30 canales “B” permite una velocidad de 64 Kbps. Esta es una definición para la transmisión de datos a través de un “RDSI” (Red Digital de Servicios Integrados) mediante el nivel de acceso primario. El “DMI” proporciona ya sea señalización orientada al BIT (Bos) o señalización orienta al mensaje (Mos) en la modalidad de señalización por canal común.

En la figura 18, se muestra la trama típica del formato de acceso primario para la transmisión de 30 canales de voz. La cual bajo el protocolo DMI se utiliza para la transmisión de 30 canales de datos de 64 KBps.

## 7. Estado de avance de las comunicaciones.

### 7.1. Introducción.

El avance tecnológico ha permitido un gran desarrollo en las comunicaciones en los últimos años. Con la incorporación de la fibra óptica se aumento el ancho de banda de los enlaces de comunicaciones y por lo tanto la necesidad de multiplexar los enlaces básicos y primarios con el propósito de utilizar en forma adecuada los anchos de bandas disponibles. Junto con esto está la normalización desarrollada para ser aplicada a toda esta nueva tecnología. Una de las normalizaciones más importantes y que va a ir en aumento en los próximos años es la “RDSI” (Red de Servicios Integrados). Las características generales del “RDSI” son explicadas más adelante.

Con el aumento del ancho de banda, de los enlaces de fibra óptica, ha surgido la necesidad de una normalización en la jerarquía de multiplexación de este tipo e enlaces. Esta normalización está orientada a la unificación de las normalizaciones dispares existentes en la actualidad principalmente entre la europea y americana.

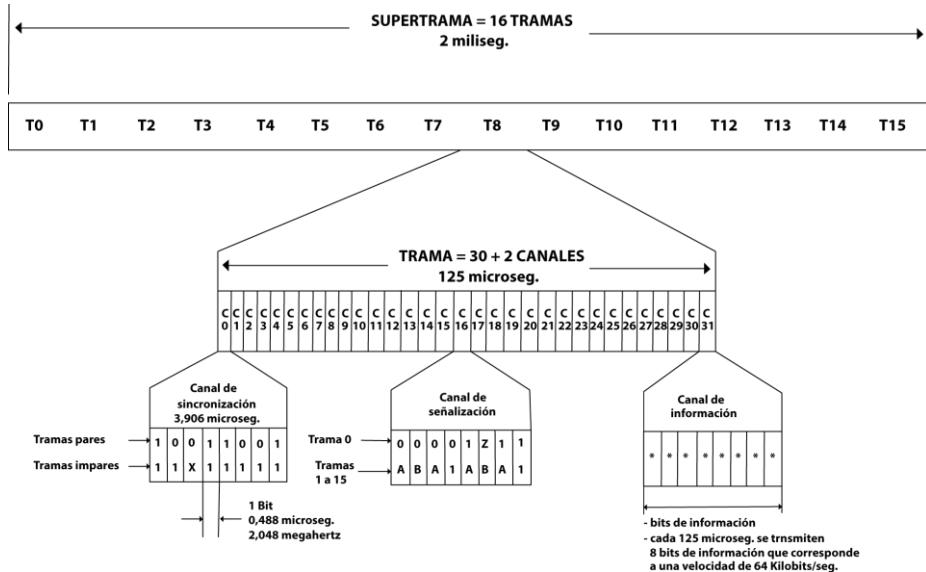


Fig. 17. Estructura PCM acceso primario.

## **7.2. RDSI (Red de Servicios Integrados).**

Muchas organizaciones utilizan seis a diez redes superadas para manejar sus requerimientos de comunicaciones de datos (telefonía conmutada, telefonía dedicada, télex, teletex, telégrafo, red pública de datos, red privada de datos, etc.). La intención de la “RDSI” es utilizar una tecnología al servicio de todos estos sistemas dispares.

La estructura básica del ISDN se ilustra en la figura, la cual muestra tres importantes aspectos de este estándar: grupos funcionales, puntos de referencia, y puntos de acceso. Grupos funcionales son las funciones que pueden ser necesarias para soportar un arreglo de acceso de usuario específico. Puntos de referencia son los puntos conceptuales dividendo los grupos funcionales y generalmente consisten de interfases conectores físicos. Los puntos de acceso establecen cual de las siete capas “ISO” son utilizadas en los grupos funcionales o puntos de referencia.

El CCITT una organización de las naciones unidas, que define directrices para las telecomunicaciones ha definido cinco puntos de referencia; R, S, T, U, YV. Hay lugares en la red donde una o más interfaces para aplicaciones específicas pueden tomar lugar.

**Puntos de acceso RDSI.** Puntos de acceso 1 y 2. Estos puntos describen los servicios portadores invocados desde las capas 1 a 3 de la “ISO”.

Actualmente varios servicios portadores están completamente o parcialmente definidos en la “RDSI”, como por ejemplo:

- Un servicio modo circuito a 64 Kbit/s para soportar voz digitalizada.
- Un servicio modo circuito a 64 Kbit/s para soportar datos.
- Un servicio modo paquete para soportar una llamada virtual X.25.

Puntos de acceso 3 y 5. Describen los teleservicios invocados desde las capas número 4 a 7 de las “ISO”. Estos servicios incluyen funciones de soporte que están en otros estándares del CCITT, tales como equipo terminal, servicios de telemática y gráfico.

Punto de acceso y utiliza los servicios de otros servicios estandarizados por el CCITT, tales como la serie de recomendaciones “X” y “V”.

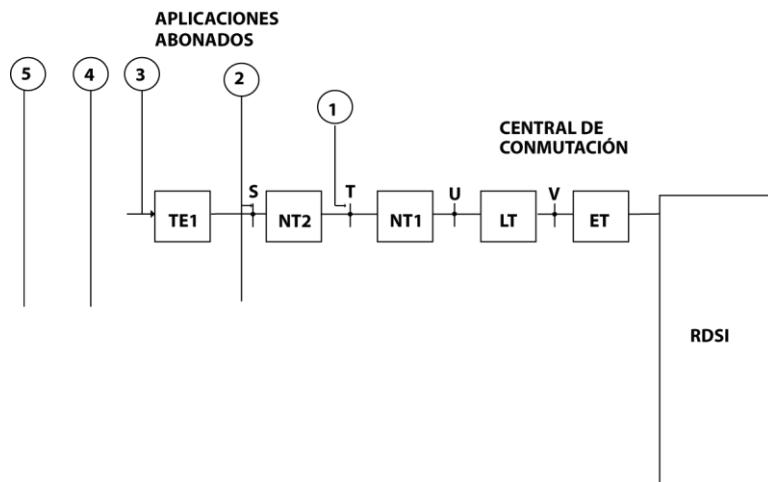


Fig. 18. Estructura básica del RDSI.

**Interfases RDSI.** La interfase “R”. Es un punto de acceso para equipos no compatibles con la “RDSI” denominados “TE2”. Estos equipos requieren algún tipo de adaptador o conversor denominado “TA”. Ejemplo de estos equipos son: el teléfono convencional, todos aquellos equipos que se comunican a través de puertas RS232-C, etc. Estos conversores de protocolos proliferarán en esta década con la expansión de la “RDSI”. Un adaptador de terminal “TA” transforma a un terminal NO-“RDSI”, PC o Modem en un equipo compatible ISDN con interfase de acceso básico (28+D, con dos canales B a 64 Kbit/s y un canal D a 16 Kbits/s) teléfonos análogos y maquinas fax también pueden ser conectadas a algún “TA” a través de un conector telefónico tipo RJ11.

Las funciones de un “TA”, entre otras, incluyen: adaptación de velocidades de transmisión y conversión de formato de datos por un canal B, interfase por canales “B” y “D” para conmutación de paquetes X.25, digitalización de instrumentos análogos por un canal “B”, señalización fuera de banda en el canal D (de acuerdo a los entandares CCITT Q.931 y Q.921), y la interfase a cuatro hilo capa física RDSI S/T (de acuerdo al estándar CCITT 1430).

Para comprender las funciones de terminales adaptadores es necesario comprender los puntos de referencia y grupos funcionales del RDSI.

La interfase “S”. Es un punto de acceso para equipos compatibles con la “RDSI” denominados “TE1” o para equipos no compatibles con la “RDSI”, pero que lo hacen a través de un conversor R/S denominado “TA”. El punto “S” es un punto de acceso básico para acceder a los servicios portadores prestados por una RDSI. Este punto es de acceso utiliza dos pares trenzados (4 hilos) y permite la transferencia “Full-Duplex” de los canales “B” a 64 Kbit/s y un canal “D” a 16 Kbit/s, denominado “2B+D”. La interfase “T”. Es donde el equipo de conmutación basado en los requerimientos del “RDSI” se conecta al lado portador de la terminación de Red “NT1”.

La interfase “U”. Es la conexión entre el usuario “RDSI” y el equipo oficina central de conmutación “RDSI”.

El uso de técnicas de cancelación de eco permite operación “FULL-DUPLEX” sobre un solo par trenzado.

Esta interfase básica de dos canales B a 64 Kbit/s cada una y un canal D a 16 Kbit/s denominada “28+D”.

La interfase “V”. Permite la conexión de la oficina central al resto de la “RDSI”.

La “RDSI” está estructurada en el concepto de señalización para conmutación de circuito, mientras que otros canales (por ejemplo canal V) lleva el flujo de información de usuario. El canal “D” puede también llevar datos de conmutación de paquetes. La “RDSI” permite varias estructuras de interfaces para canales. Las mas como interfaces entre oficinas centrales son: interfaces primarias de:

1544 Mbit/s para 23 + D (Americano + 1)

2048 Mbit/s para 30B + D (CEPT – 1 Europeo Latino America).

6.1.3. Funciones RDSI: NT1 (terminación 1 de Red). Influyen funciones asociadas con la terminación física de la red (por ejemplo, transferencia de alimentación, temporización, chequeo, mantenimiento).

NT2 (terminación 2 de Red). Incluye funciones comúnmente encontradas en PBXS, redes de área local (LANS y controladores GLUSTER/TERMINAL).

TE1 (equipo terminal tipo 1). Es un dispositivo de usuario final que cumple con las recomendaciones de la “RDSI”.

TE2 (equipo terminal tipo 2). Es un dispositivo de usuario final que no cumple con las recomendaciones de la “RDSI”.

TA (adaptador de terminal). Es el conversor que adapta equipos que no son compatibles a la “RDSI”.

Para un estudio completo de “RDSI” referirse a los libros azules de la UIT (CCITT).

## 8. Estandarización del CCITT para la interfase de nodo de redes de la jerarquía digital sincrónica.

Debido al aumento de la demanda de servicios de banda ancha a nacido la necesidad de tener una normalización que sea aplicable universalmente y se ha denominada NNI (Netwerk Node Interfase) aplicable para una nueva jerarquía digital sincronica (SDH: Sinchrondus Digital Hierarchy), la cual se denomina Sonet (Synchrondus Optical Network) en Norte America.

Las características principales para una nueva red digital sincrónica son:

- Que soporte varias señales, tales como los canales de “B” hasta “Hy” (desde 64 kbps hasta 135 mbps).
- Interconexión internacional simple entre jerarquías basadas en 1.5 Mbps y 2 Mbps.
- Reducir los costos de los nodos de la red por la utilización de multiplexación sincrónica.
- Avanzadas capacidades de operación y mantenimiento de la red.

- Utilización de las facilidades existentes para permitir una evolución desde las redes existentes a todas aquellas basadas en estas nuevas interfaces.
- Flexible acomodación de los posibles servicios futuros debido al avance tecnológico.

En la figura 20, se muestra la nueva jerarquía digital que se empezó a aplicar en la fabricación de equipos en norte América y otros países.

En la figura 21, se muestran los interfaces actuales que se están usando en el mundo, las nuevas interfaces sincrónicas mediante las cuales se están fabricando los nuevos equipos y finalmente el sistema unificado sobre el cual está trabajando actualmente el CCITT.

Un estudio acabado del desarrollo de la jerarquía digital sincrónica se encuentra en la revista IEEE "COMMUNICATIONS" August 1990.

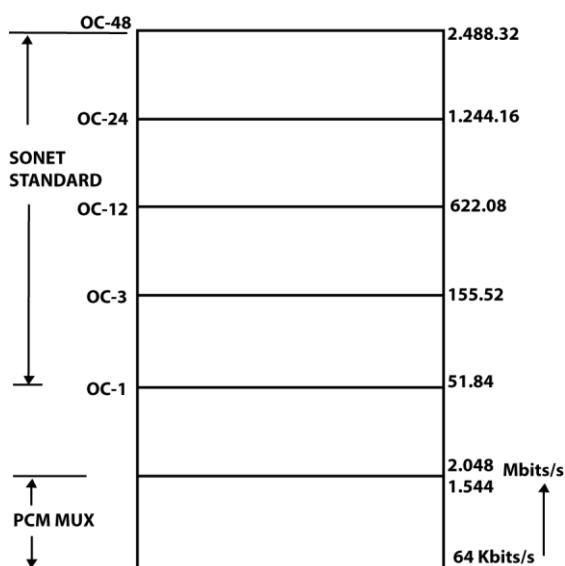


Fig. 19. Jerarquía digital sincrónica SONET

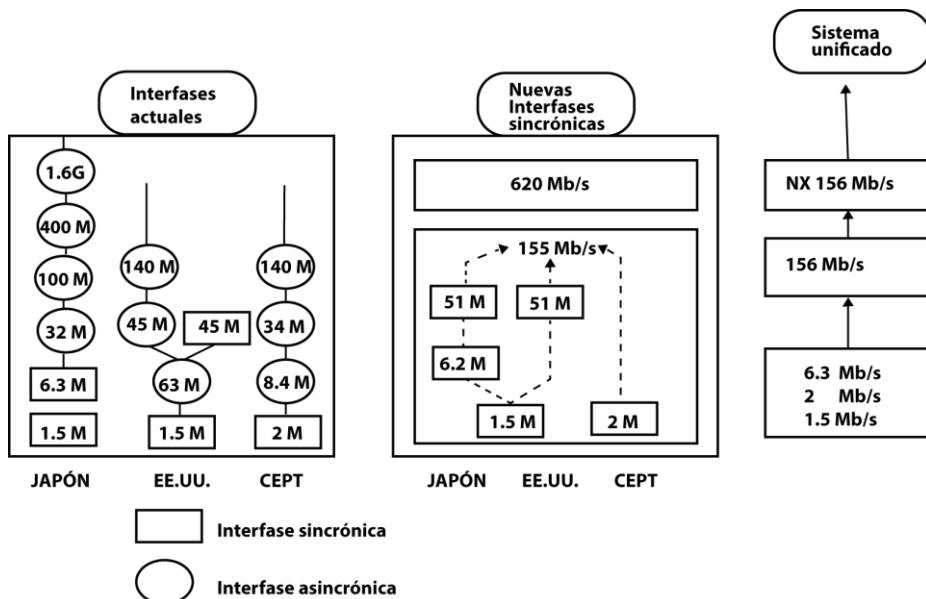


Fig. 20. Sistema Universal NNI

# **Plantas Térmicas para el Suministro Descentralizado de Calor y Electricidad a la Industria y a Zonas Urbanas**

Jürgen Arbeitsbereich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Hamburg-Harburg, República Federal de Alemania

**Resumen.** Se presenta el concepto de la Cogeneración de Calor y Electricidad (CCE), enfocado hacia la tecnología de las Plantas Cogeneradoras de Fuerza y Calor con Motores de Combustión (PCFCMC). Se comparan las posibles fuentes de energía primaria tales como gas natural, petróleo, gas de clarificación, gas de basura, gas de carbón, biogás e hidrógeno con respecto a sus potenciales de utilización. Los balances de energía de diferentes sistemas de CCE son comparados con respecto al grado de aprovechamiento de la energía primaria y a la contaminación del medio ambiente mediante las emisiones de calor residual y de gases tóxicos. Los resultados muestran la ventaja energética del concepto de la CCE comparado con los sistemas convencionales de producción de calor en calderas descentrales y de generación exclusiva de electricidad en plantas térmicas centrales. La contaminación del medio ambiente con SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> por PCFCMC también es menor que la producida por sistemas convencionales si se relacionan las emisiones con la energía total generada.

## **1. Introducción**

La eficiencia total de plantas térmicas para la producción exclusiva de electricidad varía entre 30% y 40%. La mayor parte de la energía contenida en el combustible se pierde en forma de calor residual. La termodinámica de los ciclos de fuerza (de vapor o de gas) exige la transferencia del calor residual al medio ambiente.

El concepto de Cogeneración de Calor y Electricidad (CCE) consiste en el aprovechamiento simultáneo de la electricidad y del calor residual, donde este último se utiliza para calefacción y/o para procesos térmicos industriales. El circuito de enfriamiento (río o torre de enfriamiento) se substituye por el circuito de calefacción de los consumidores de calor.

Básicamente la CCE es factible en cualquier planta que convierta energía química o nuclear en calor. En zonas de suministros con gran número y densidad de consumidores de calor y electricidad se ofrece la instalación de una planta central para la CCE con base en el ciclo Clausius-Rankine (turbina de vapor) o en el ciclo Joule (turbina de gas).

En zonas con demanda de calor y electricidad reducidas los ciclos Clausius-Rankine y Joule no alcanzan rentabilidad, debido a la relación hiperbólica entre los costos de inversión por unidad de potencia instalada y la potencia instalada total. Una solución para este caso es la construcción de una Planta Cogeneradoras de Fuerza y Calor con Motores de Combustión (PCFCMC). El corazón de la PCFCMC es el motor de combustión estacionario que al producir la electricidad mediante un generador, simultáneamente entrega el calor residual contenido en los gases de escape, en el agua de enfriamiento y en el lubricante a un circuito de agua caliente.

En [1] se compara los flujos de energía para los tres principales conceptos de la producción de calor y electricidad (figura 1):

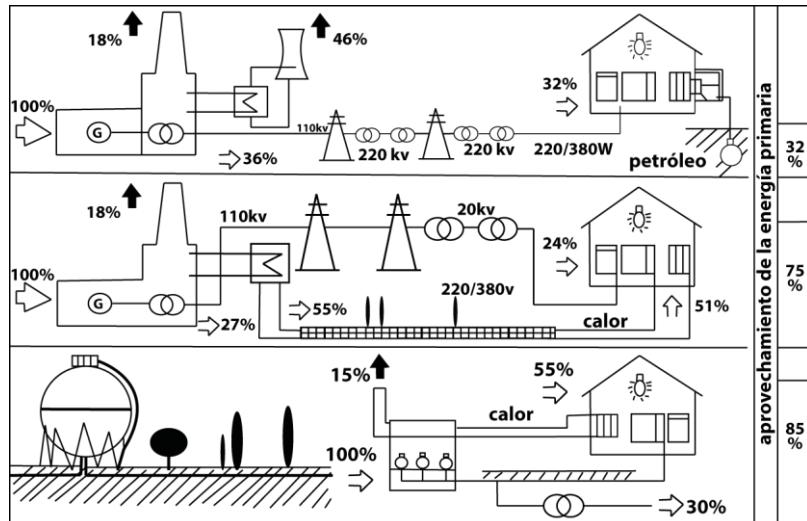


Fig. 1. Flujos de energía para los tres principales conceptos de la producción de calor y electricidad (los porcentajes son promedios anuales).

1. Calderas descentrales: Planta térmica (Clausius-Rankine) central sin CCE.
2. Planta térmica (Clausius-Rankine) central con CCE.
3. Planta térmica (PCFCMC) descentral con CCE.

En el caso de la planta térmica central sin CCE aproximadamente 36% de la energía primaria consumida es convertido en electricidad, 18% se pierde en los gases de escape, 46% es transferido al medio ambiente en forma de calor residual. Considerando perdida de un 4% durante el transporte de la electricidad a largas distancias, el grado de aprovechamiento de la energía primaria llega solamente al 32%.

La planta térmica (Clausius-Rankine) central con CCE convierte 27% de la energía primaria en electricidad y hasta 55% en calor útil. Solamente 18% se disipa al medio ambiente. Considerando pérdidas de 3% durante el transporte de la electricidad y 4% en el transporte del calor, el consumidor recibe 24% en forma de calor útil. El grado de aprovechamiento de la energía primaria alcanza 75%.

Una PCFCMC permite al consumidor la utilización de 55% de la energía primaria en forma de calor útil y 30% en forma de electricidad generada. De esta manera 85% de la energía primaria es aprovechado.

La figura 2, muestra el esquema de una PCFCMC con motores de combustión. La planta consta básicamente con varias unidades motor-generador trabajando paralelamente según la demanda de calor o electricidad. Para la carga térmica de

punta se provee una caldera adicional conectada en serie con los intercambiadores de calor entre los gases de escape y el circuito de calefacción.

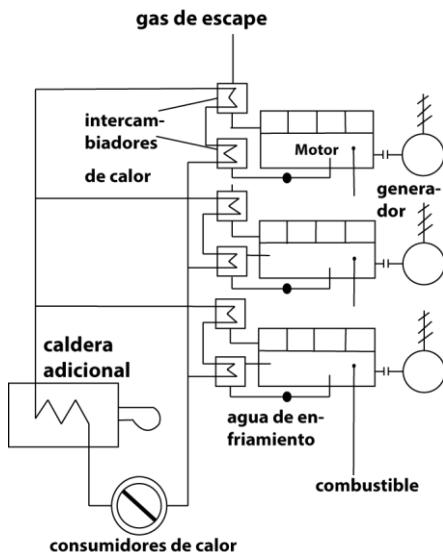


Fig. 2. Esquema de una Planta Cogeneradora de Fuerza y Calor con Motores de Combustión (PCFCMC).

## 2. Las Fuentes de Energía Primaria para Sistemas de PCFCMC

La combustión de petróleo, de gas natural y de gases licuados en motores PCFCMC es técnica probada y no requiere comentario. La mayoría de los demás gases también son aptos para el mismo objetivo. Los criterios más importantes para la evaluación de su aptitud son el número de metano, el poder calorífico, la emisión de gases tóxicos y la pureza del combustible.

El proceso de clarificación de aguas residuales mediante la actividad bacterial produce un biogás cuya composición es de 60 a 70% de metano, 30 a 40% de CO<sub>2</sub> y hasta 1% de H<sub>2</sub>S. Este último y los productos de su oxidación H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> son corrosivos. Generalmente una desulfurización de los gases de escape es obligatoria.

Un gas con características similares al gas de clarificación es el gas de los depósitos de basura. Pero su contenido de metano es frecuentemente inferior debido a la presencia de un 10 a 15% Vol. de nitrógeno, circunstancia que tiende a retardar la combustión en motores.

La gasificación del carbón produce un gas sintético con 50 a 55% Vol. hidrógeno, que medio siglo atrás tenía importancia como combustible para motores de gas en varios países industrializados. Despues de 1973 el desarrollo de tecnologías modernas para la gasificación se aceleró con el objetivo de conseguir gases con una pureza similar a la del gas natural.

En las minas de carbón se extrae el gas de minas para eliminar el metano del aire ambiental de los trabajadores. El gas de minas es una mezcla de metano (40 a 45%

Vol.), aire y otros gases en menor concentración.es un combustible sin problemas, pero su producción es discontinua.

El biogas se gana mediante procesos químico-térmicos de los desechos de la agricultura, ganadería y silvicultura. La composición de un biogas depende mucho de los ingredientes del proceso de producción. Los componentes combustibles que normalmente se obtiene son 20 a 30% (Vol.) CO, 15 a 20% H<sub>2</sub> y algo de metano. La parte restante se pone de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> lo cual reduce el poder calorífico considerablemente. Por esta razón la utilización de biogas en motores de gas requiere la sobrealimentación de estos. Además el biogas contiene polvo que hay que extraer con filtros antes de su inyección en el motor.

El hidrógeno sería un combustible excelente por la limpieza de los productos de su combustión. Solamente una cierta cantidad de N<sub>x</sub> se genera durante su reacción con el aire. Pero la producción del hidrógeno mediante la electrólisis, del agua no es económica hasta la fecha. Existen proyectos de investigación para el uso de la radiación solar como energía primaria de la electrólisis.

En la tabla 1 se compara el gas natural con los gases mencionados con respecto a su aptitud como combustibles en motores de gas.

Tabla 1. Comparación de las características de gases combustibles.

Denominación	Número metano	Poder calorífico MJ/m <sup>3</sup>	Emisión tóxica	Pureza	Aptitud
Gas natural	70 a 100	47,3	NO <sub>x</sub>	Buena	Buena
Gas de clarificación	120 a 135	23	SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Buena	Satisf.
Gas de basura	130 a 150	20	SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Satisf.	Satisf.
Gas de carbón	30 a 40	18	SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	Satisf.	Satisf.
Gas de minas	100 a 120	15	NO <sub>x</sub>	Satisf.	Satisf.
Biogas	>100	6	varios	Mala	Limitada
Hidrógeno	0	11,5	NO <sub>x</sub>	Buena	Buena

### 3. El Balance de Energía

Dos valores característicos determinan la evaluación energética de los procesos de la cogeneración: la eficiencia de la producción de electricidad y el nivel de temperatura con el cual el calor residual se trasfiere a su consumidor. El nivel de temperatura determina la capacidad del calor disponible para la ejecución de trabajo, que se expresa por la fracción de la energía

$$e = \frac{E}{Q} = 1 - \frac{T_a}{T_c} \quad (1)$$

Con E = flujo de exergía, Q = flujo de calor, T<sub>c</sub> = nivel de temperatura de flujo de calor (Kelvin), T<sub>a</sub> = nivel de temperatura del medio ambiente (Kelvin).

En la planta térmica central para la producción exclusiva de electricidad se procura condensar el vapor saliente de la(s) turbina(s) a la temperatura mínima alcanzable por el sistema de enfriamiento (p.ej. 33°C). Si la temperatura del medio ambiente es 20°C

la fracción de la exergía dentro del calor residual es de solo  $e = 0,043$ . La utilización de este calor residual requiere el empleo de una bomba de calor.

Las plantas térmicas centrales para la cogeneración de calor y electricidad se diseñan de tal manera que el vapor residual tenga un estado térmico suficiente elevado para alcanzar temperaturas hasta de 180°C en el circuito de calefacción. La terminación prematura de la expansión en la(s) turbina(s) reduce la producción de la electricidad.

La diferencia entre las temperaturas de entrada y salida de la red de calefacción es aproximadamente proporcional a la demanda de calor. Por esto la relación:

$$REC = \frac{\text{entrega de electricidad}}{\text{entrega de calor}} \quad (2)$$

Es función de la demanda de calor como muestra la figura 3.

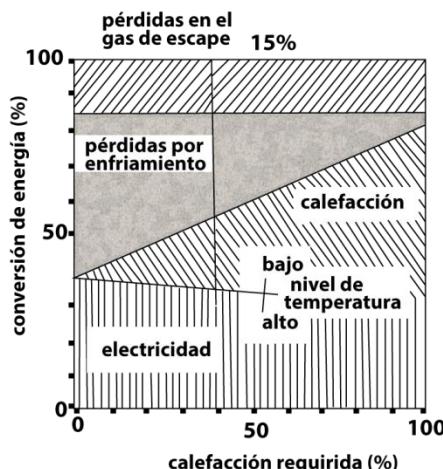


Fig. 3. Balance de energía de una planta térmica con CCE en función de la calefacción requerida.

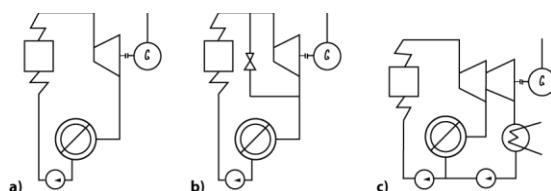


Fig.4. Esquemas para la cogeneración de calor y electricidad:

- a) demandas térmicas y eléctricas balanceadas
- b) demanda térmica predominante
- c) demanda eléctrica predominante

La figura 4, contiene tres esquemas de plantas térmicas con CCE para diferentes relaciones entre las demandas de electricidad y calor. Normalmente el diseño del proceso térmico se orienta a satisfacer la demanda térmica con respecto a la cantidad

y al nivel de temperatura. Discrepancia de poca duración entre el valor REC momentáneo y el diseño se pueden compensar mediante acumuladores adicionales de calor integrados en el circuito de calefacción o calderas de petróleo o gas adicionales para cubrir la carga térmica de punta. La compensación de oscilaciones de la demanda eléctrica requiere la conexión a la red pública de electricidad.

La figura 5, es el diagrama Sankey de una PCFCMC con motores de gas, en el cual se indican las fracciones de la energía primaria invertida y las diferentes formas de utilización. La evaluación exergética de los dos flujos de calor útil resulta en los valores.

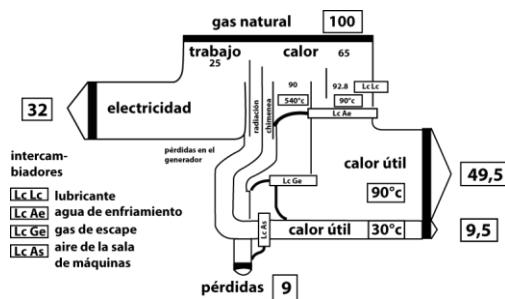


Fig. 5. Balance de energía para una PCFCMC con motores de gas natural.

Calor útil a nivel de 90°C:  $e = 0,19 [-]$

Calor útil a nivel de 30°C:  $e = 0,03 [-]$

El segundo flujo de calor procedente de la radiación térmica del motor es despreciable debido a su bajo nivel de temperatura.

#### 4. Comparación Energética de Sistemas de CCE

La relación entre las demandas de calor y electricidad depende de la estructura habitacional e industrial de la zona de abastecimiento, que varía en un caso a otro. Pero el valor  $REC = \frac{1}{2}$  es frecuente y puede servir como base para la siguiente comparación de sistemas. Otra suposición requerida para tal objetivo es la distribución de la demanda a lo largo del año. Generalmente se determinan valores de hora en hora de las dos variables y se grafican de manera ordenada en [1] y en la figura 6, para el caso de la demanda térmica.

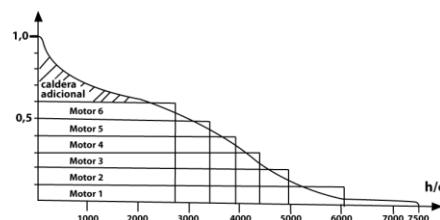


Fig. 6. Diagrama ordenado de la demanda de calor y horas de operación para los componentes de una PCFCMC.

La demanda máxima ocurre solamente durante pocas horas por año, y por eso la potencia máxima de los motores aislados se limita a 60% de la demanda térmica máxima. Para la carga de punta se provee una caldera adicional. El efecto de esta manera bivalente de operación de la planta se podrá notar p.ej. en la fig.9 que considera tanto una caldera adicional como la operación de las plantas térmicas con CCE y sin CCE alternativamente.

En [1] se calcula los balances de energía ilustrados en las figuras 7 hasta 13. Los resultados son las fracciones de la energía primaria requerida ( $Q$  = calor,  $E$  = electricidad) y de las pérdidas de energía ( $Q_p$ ).

La figura 7, muestra un sistema eficiente con respecto al aprovechamiento de la energía primaria: la producción de la electricidad en una planta central sin CCE y la conversión directa de la electricidad en calor en el lugar del consumo. Para las 100 unidades de energía útil se necesitan 300 unidades de energía primaria.

El sistema más frecuente en el presente se estudia en la figura 8. El calor se produce descentralmente en calderas de petróleo o gas y la electricidad se obtiene de una planta térmica central sin CCE. Las pérdidas se deben al transporte de la electricidad a larga distancia y a la operación discontinua de las calderas durante las temporadas templadas. Para las 100 unidades útiles se requieren 204 unidades primarias.

La figura 9, indica el sistema de la CCE en una planta central operando de una manera bivalente con una caldera central adicional. El valor REC de la planta con CCE varía entre 0, 71 (demanda eléctrica dominante) y 0,53 (demanda térmica dominante). La eficiencia de la caldera se supone mayor que para el sistema de la figura 7, porque esta caldera casi nunca trabaja durante las temporadas templadas. Para las 100 unidades útiles se requieren 166 unidades primarias.

En la figura 10, se combina la planta térmica central sin CCE con bombas eléctricas de calor descentrales para la carga térmica de punta. Como fuente de calor de las bombas sirve el aire del medio ambiente. Para el coeficiente de realización de las bombas de calor se supone el valor de 3,5. En este caso la mayor parte del calor útil es entregado con temperaturas bajo 60°C. Por lo tanto las superficies de transmisión de calor de los equipos consumidores se tienen que aumentar. Para las 100 unidades útiles este sistema exige 162,5 unidades primarias.

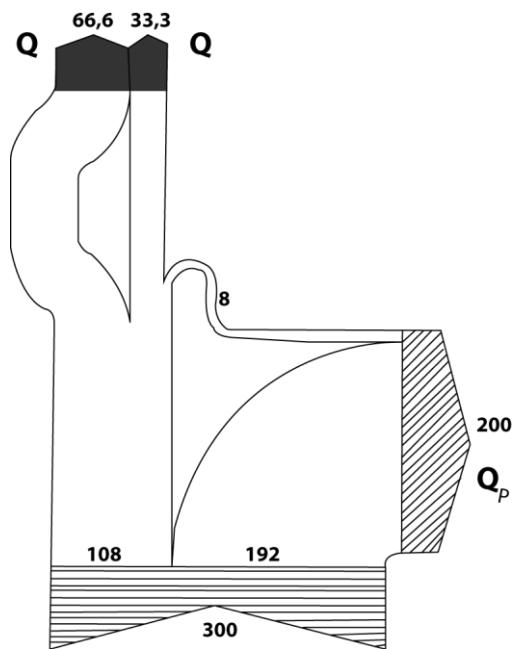


Fig. 7. Balance de energía: planta central sin CCE, y conversión directa de la electricidad a calor

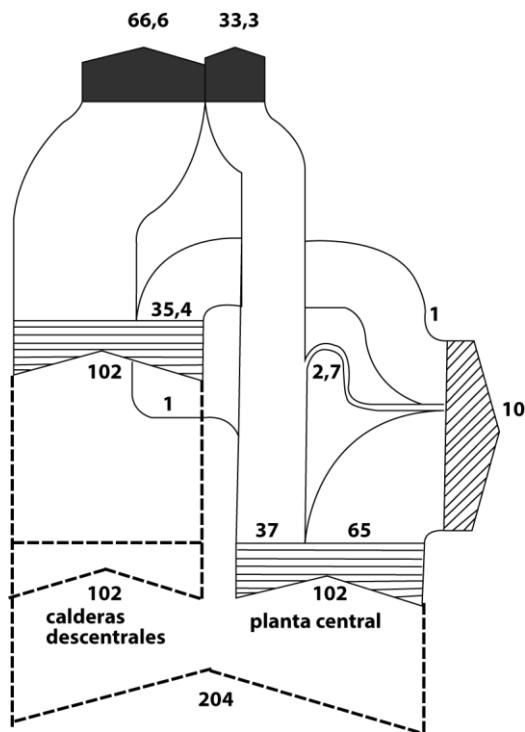


Fig.8. Balance de energía: caldera descentrales para calor y planta central sin CCE para electricidad

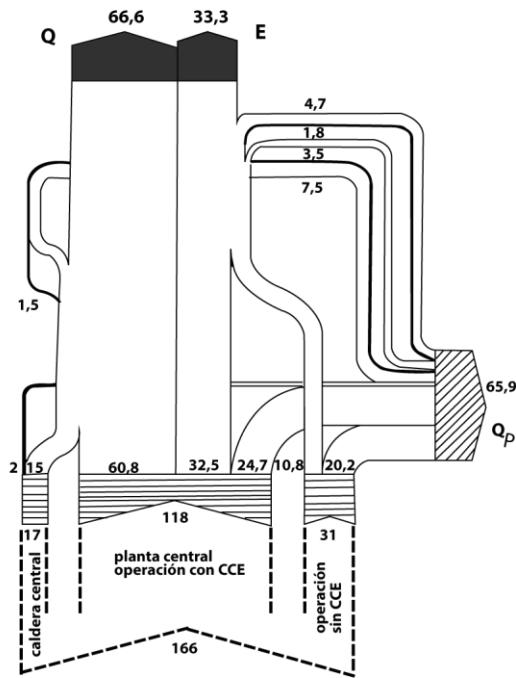


Fig. 9. Balance de energía: planta central con CCE central adicional.

La próxima alternativa, figura 11, sustituye la bomba eléctrica de calor por una con motor de combustión de gas o diesel. Se supone el mismo coeficiente de realización de 3,5 para la bomba de calor utilizando la misma fuente de calor ambiental. El uso de los motores de combustión permite el aprovechamiento del calor residual de los gases de escape con temperaturas de 90°C o más. Para las 100 unidades útiles se consume 152 unidades primarias.

La PCFCMC pueden trabajar con diversos tipos de motores de combustión: p.ej. con motores de gas con el ciclo Otto ( $REC = 0,55$ ) o con motores diesel ( $REC = 0,70$ ). Esta diferencia entre los valores REC conduce a diferentes resultados en el balance energético. La figura 12, presenta los valores para el caso con motores de gas (ciclo Otto). Como la producción eléctrica no es suficiente para satisfacer la demanda supuesta, se compra una fracción pequeña de red pública. A diferencia de los sistemas con bombas de calor la PCFCMC es capaz de entregar todo el calor con una temperatura de 90°C. Para las 100 unidades útiles la PCFCMC requiere solamente 122 unidades primarias.

El último sistema discutido aquí fig.13, utiliza la ventaja del motor diesel con respecto al valor REC. Se obtiene un pequeño exceso de la producción eléctrica sobre la demanda supuesta. Este puede gastarse para mover una bomba eléctrica de calor, produciendo 7,9 de las unidades de calor requerido (en un nivel de temperatura inferior a 60°C). Con solamente 109 unidades primarias consumidas para 100 unidades útiles de energía este sistema es el mejor entre los analizados con respecto al grado de aprovechamiento de la energía primaria.

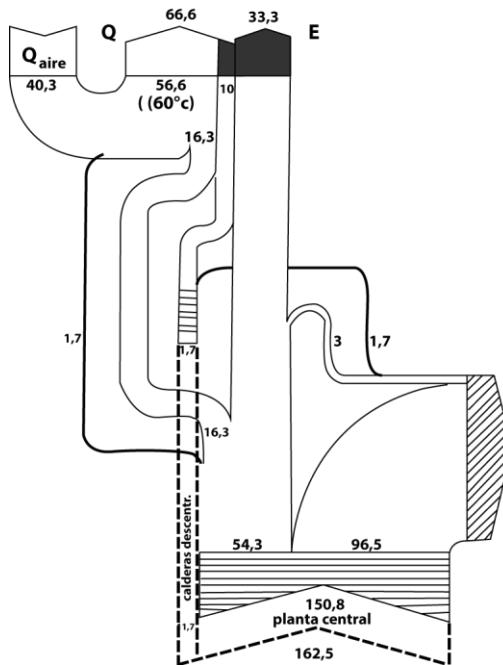


Fig. 10. Balance de energía: planta central sin CCE con bombas de calor descentrales y con calderas descentrales para carga térmica de punto.

## 5. Consideraciones Económicas

Una condición determinante para la rentabilidad de plantas Cogeneradoras centrales es la alta densidad de consumidores de calor y electricidad requerida para justificar las inmensas inversiones de capital de las redes de calefacción a larga distancia.

El sistema de la PCFCMC permite la instalación de pequeñas unidades en los centros de consumo de calor evitando así la inversión en la red de calefacción subterránea. Pischinger /2/ compara las fracciones de las inversiones restantes para la PCFCMC en la figura 14. La mayor parte corresponde a los motores y al equipo adicional para la reducción de las emisiones de gases tóxicos. También son importantes las fracciones para la edificación de la planta y para el generador de electricidad. La fracción para el equipo de control automático es relativamente considerable por que los cambios del clima exterior así como la demanda eléctrica obligan a reajustar continuamente la operación de los componentes de la maquinaria.

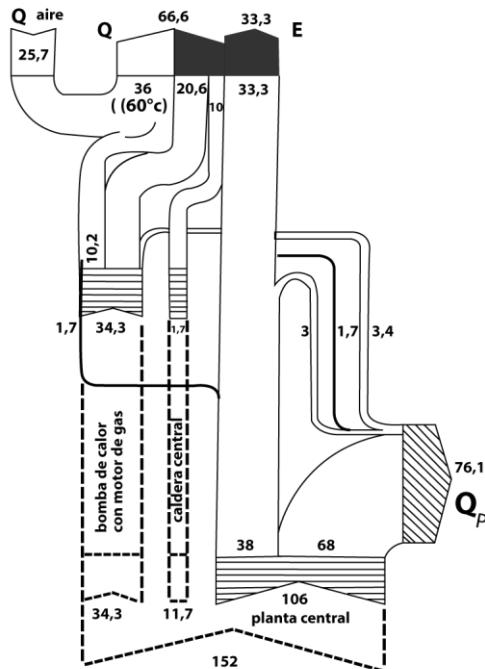


Fig.11. Balance de energía: planta central sin CCE con bomba de calor central y caldera adicional central para carga térmica de punta.

Uno de los antecedentes indispensables para el diseño económico de una PCFCMC es el conocimiento de la distribución temporal de las demandas de la zona consumidora. Una primera aproximación ofrece el cálculo según el diagrama ordenado de la demanda, fig.6. pero este método no considera el efecto de cambios súbitos de la demanda y tampoco permite el cálculo de la capacidad requerida de acumuladores térmicos para compensar paralizaciones de consumo.

Por eso la evaluación del trascurso de las condiciones de operación durante las 24 horas del día es más fiable. Un ejemplo para la aplicación de este método presenta Schimdt /4/ en la figura 15. Dependiendo de la exactitud requerida de cálculo se define cierto número de días característicos para el periodo de un año de operación y se multiplican los valores clasificados de demanda por la frecuencia de su ocurrencia para finalmente llegar a un balance energético y económico total.

## 6. Emisiones

Una PCFCMC siempre se instala en el centro de la zona de los consumidores de calor y electricidad. Por eso es importante el control de las emisiones de ruido y gases tóxicos. El ruido no presenta dificultades si el edificio de la planta se construye de una manera adecuada. Con respecto a los gases de escape la provisión de equipos para la reducción de la concentración de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> es indispensable. Aprovechando el

desarrollo acelerado de catalizadores en la industria automotriz, los fabricantes de motores llegaron simultáneamente a soluciones satisfactorias para las PCFCMC, especialmente aquellas con motores de gas.

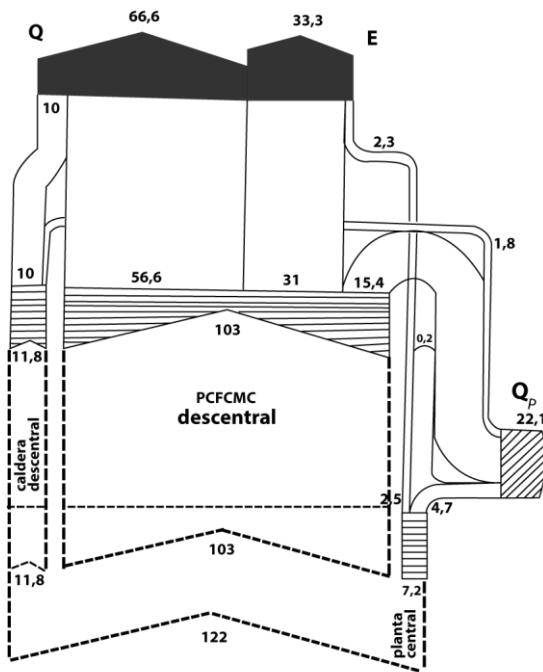


Fig.12. Balance de energía: Planta cogeneradora de fuerza y calor con motores de combustión (ciclo Otto). Calderas adicionales descentrales y electricidad adicional de la red pública.

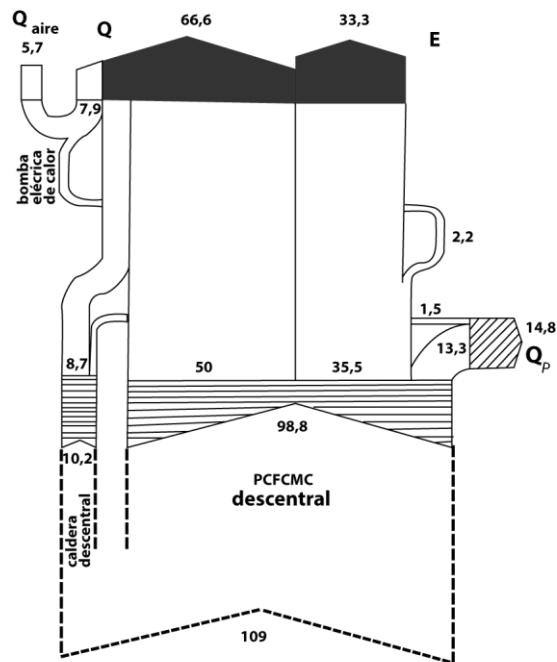


Fig.13. Balance de energía: Planta cogeneradora de fuerza y calor con motores de combustión (ciclo Diesel). Calderas adicionales descentrales y bombas de calor descentrales.

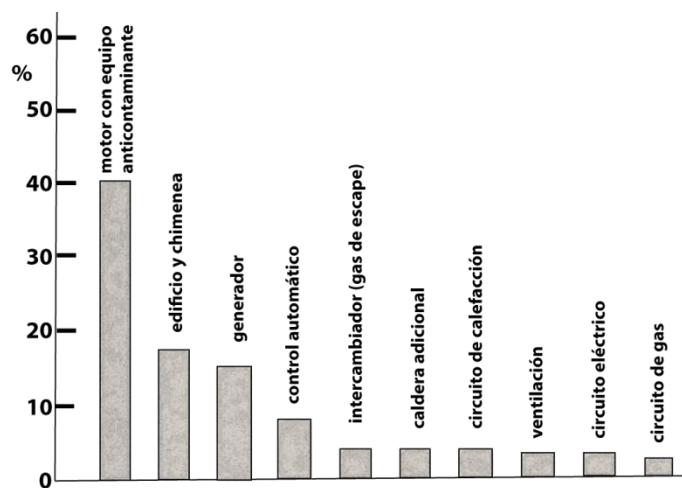


Fig.14. Costo relativo de inversión de los componentes de una PCFCMC a gas.

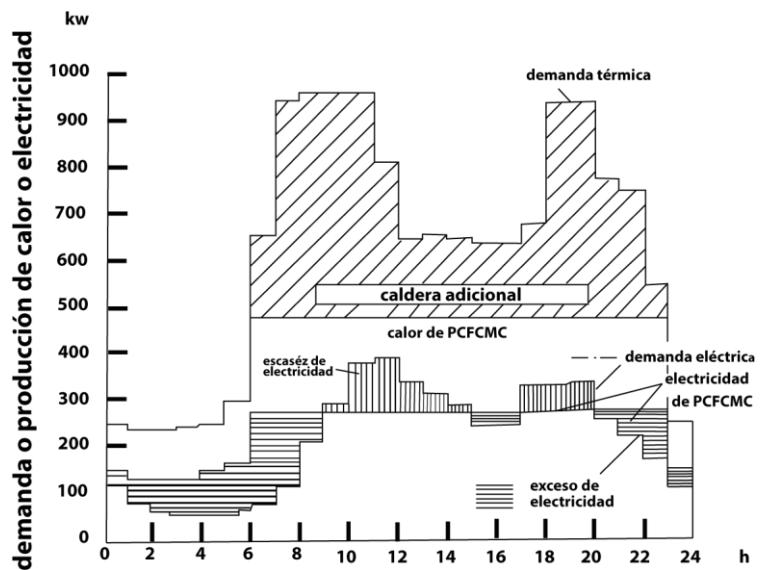


Fig.15. Ejemplo del balance diario de calor y electricidad para una PCFCMC.

Como ejemplo para el efecto de las medidas contra la contaminación Pischinger /2/ compara las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> por unidad de energía útil producida por los tres sistemas siguientes (figura 16):

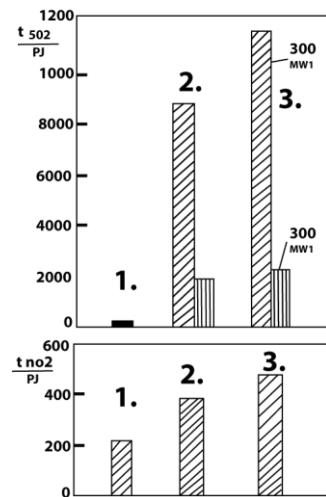


Fig.16. Emisiones específicas causadas por la generación de electricidad (35%) y calor (65%) en diferentes sistemas.

1-PCFCMC a gas natural

2-Planta central (sin CCE) a carbón y calderas descentrales a gas natural

3-planta central (sin CCE), planta central (con CCE), ambas a carbón  
De igual manera que para la comparación energética anterior de sistemas se supone la relación  $\frac{1}{2}$  entre la generación de electricidad y calor.

## 7. Conclusiones

La comparación energética de sistemas factibles para la producción de calor y electricidad demuestra que la cogeneración en todo caso es más ventajosa que el sistema tradicional de la producción eléctrica central con generación de calor descentral. El número de la densidad de los consumidores de energía así como los combustibles disponibles y la infraestructura de la zona de suministros son condiciones determinantes para la decisión entre una planta térmica central con CCE o el sistema de la PCFCMC.

A pesar de que actualmente el gas natural es el combustible preferido para las PCFCMC, las perspectivas para la aplicación de esta tecnología en zonas sin acceso a fuentes considerables de gas natural son atractivas debido a las posibilidades de utilizar el gas de clarificación, la gasificación de carbón o (en un futuro más lejano) el hidrógeno producido por la energía solar en desiertos con alta irradiación.

## Referencias

1. Hein, K.: "Blockheizkraftwerke, Dezentral Wärmekraftkopplung". Karlsruhe, Verlag C.F. Müller. 1980
2. Pischinger, F.: "Die Entwicklung der BHKW-Technik". VDI-Berichte 630, pp 1-13 (1987), VDI-Verlag
3. Recknagel, H.: Sprenger, E.: Hönnemann, W.: "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik". München, R. Oldenbourg Verlag 1987
4. Schmidt, P. C.: "Planung und Ausführung von BHKW-Projekten Erfahrungen, Fehler, Konsequenzen für neue Vorhaben". VDI-Berichte 630, pp 15-31 (1987), VDI-Verlag.
5. Nota: Conferencia dictada en el marco de la IV Semana de la Energía realizada en agosto de 1988 y organizada por la Universidad de la Frontera Temuco, Chile.

# Análisis Programado de Desgaste

Joaquín Boilet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gildemeister S.A.C., Santiago, Chile

## 1. Introducción

¿Cómo lograr reducir los altos costos de las reparaciones? ¿Cómo aumentar la disponibilidad de los equipos? ¿Cómo obtener costos de operaciones más bajos?

La mejor respuesta a estas interesantes preguntas es: “Las reparaciones Programadas”. Para llegar a planificar las reparaciones se deben efectuar acciones y controles básicos, tales como:

- ❖ Mantenimiento preventivo.
- ❖ Análisis continuos del estado de los equipos.
- ❖ Mantener registro histórico de reparaciones realizadas en los equipos.

Para cuantificar la importancia de las reparaciones programadas podemos comparar los costos de las reparaciones antes y después que ha sucedido una falla.

Nuestra Empresa de acuerdo a su experiencia, ha determinado que el costo de una reparación de motor efectuada antes de ocurrir una falla es del orden de un 5 a un 25% del costo de un motor nuevo.

Las reparaciones del motor realizadas después de ocurrir una falla puede alcanzar un costo superior a un 65% del valor de un motor nuevo.

Al efectuarse una reparación antes de que suceda la falla y si las condiciones generales del equipo son buenas, el costo de esta intervención será muy bajo al igual que el tiempo de reparación. Pero para lograr esto, el problema debe ser detectado a tiempo mediante un adecuado mantenimiento preventivo; con el fin de evitar el cambio del componente (motor, transmisión, etc.) producto del grave daño causado por una falla no detectada a tiempo.

Debido a todo esto, es que la detección de fallas antes de que sucedan, es fundamental en la reducción de costos de reparaciones y en el aumento de la disponibilidad de los equipos, lo cual redundará en la reducción de los costos de operación.

En la actualidad existen muchos programas que tienen como objetivo ayudar a la detección de fallas con antelación a que ocurran y nuestra empresa está utilizando el Análisis Programado de Desgaste (APD) que cuenta con el respaldo y experiencia Caterpillar Américas Co.

Nuestro sistema está basado en los principios y técnicas de la Espectrofotometría por Absorción Atómica.

## **2. Análisis Programado de Desgaste**

### **2.1. Objetivo**

El Análisis Programado de Desgaste, A.P.D., es un programa que mediante el análisis periódico de aceite detecta tendencias de desgaste de los elementos lubricados en baños de aceite, permitiéndoles a los usuarios la detección de fallas antes de que ocurran, lo cual les otorga los siguientes beneficios:

- ❖ Reducir los costos de operación.
- ❖ Evitar que se produzcan fallas graves.
- ❖ Reducir los tiempos de detección por fallas.
- ❖ Disminuir los costos de operación.
- ❖ Aumentar la disponibilidad del equipo.
- ❖ Programar las reparaciones.
- ❖ Ayudar al personal de mantención del cliente.

Nuestro programa APD está dirigido a los usuarios de equipos Caterpillar, como un programa de apoyo al producto y que mantiene al día las informaciones referentes a patrones de desgaste y guías de interpretación por parte de la fábrica Caterpillar.

### **2.2. Descripción**

El análisis para los lubricantes para fines de mantenimiento de maquinaria pesada se ha venido efectuando desde hace varias décadas por las compañías petroleras para proteger sus productos y por laboratorios privados a fin de dar servicio a usuarios particulares de maquinaria pesada.

Se ha enfatizado mucho que con estos análisis se ha logrado un aumento en los períodos de los cambios de lubricantes y una mejor protección de las maquinarias por medio de lubricantes de mejor calidad.

Sin embargo nada o muy poco se ha averiguado sobre la condición de las maquinarias al analizar los lubricantes.

Con el análisis espectrofotométrico de los lubricantes por el contrario al análisis tradicional, se determina en primera instancia la condición del componente lubricado, basándose en el contenido de partículas de desgaste y partículas provenientes de contaminadores externos contenidos en el lubricante.

Para encontrar y cuantificar estas partículas depositadas en el lubricante es que se utiliza la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados que se obtienen de esta

forma son muy exactos y permiten establecer patrones de desgaste de los cuales se comparan las muestras obtenidas desde máquinas y equipos en operación y se evalúa el grado de desgaste de los componentes.

Estos análisis efectuados periódicamente en forma paralela a los cambios de aceite o en períodos correspondientes a concentraciones consideradas límites, permiten verificar la condición de desgaste de una máquina y lo que es más importante diagnosticar la tendencia de los desgastes permitiendo planificar las futuras acciones de mantenimiento o reparaciones antes que se transformen en grandes problemas.

### **3. Teoría Básica de la Espectrofotometría de Absorción Atómica**

La Teoría Básica de la Espectrofotometría de Absorción Atómica se puede estudiar mejor, desarrollando los siguientes puntos:

#### **3.1. Transición Del Estado de los Átomos**

Básicamente un átomo está compuesto de un núcleo en el cual se encuentran las cargas positivas denominadas protones y por cargas negativas denominadas electrones que se encuentran girando en órbita alrededor del núcleo. Los electrones distanciados entre sí, forman diferentes capas o niveles de energía, teniendo cada capa un determinado número de electrones.

Cada elemento tiene un número específico de electrones, los cuales se asocian con el núcleo atómico en una estructura, que es única para cada elemento.

Los electrones ocupan posiciones orbitales en forma predecibles y ordenada. La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como "Estado Fundamental" y es la configuración normal para el átomo.

Si a un átomo se aplica energía de una magnitud apropiada, esta será absorbida por él e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o "Estado Excitado". Como este estado es inestable, el átomo inmediatamente y espontáneamente retorna a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retornará a su órbita inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el procesos de excitación. Ver figura 1.

La longitud de onda de la energía luminosa emitida está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que un elemento dado tiene una estructura electrónica única que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento.

El proceso de excitación y retorno al estado fundamental es común en los tres campos de la espectroscopía atómica. Por esta razón, ya sea la energía adsorbida en el proceso de excitación o la emitida en el proceso de retorno, puede ser medida y usada para propósitos analíticos.

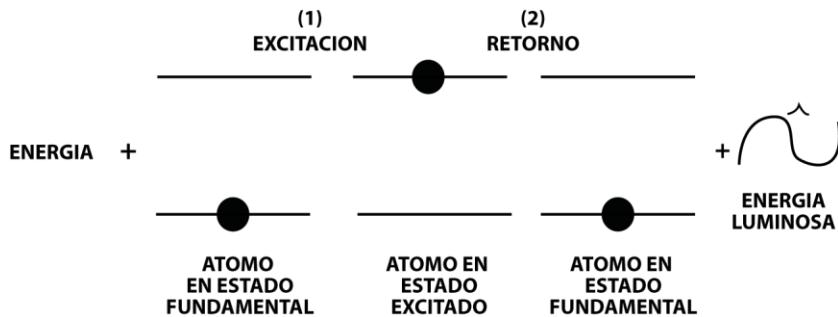


Fig.1. Proceso de excitación y retorno de Átomos.

En la emisión atómica, la muestra sometida de una alta energía y temperatura, con el objetivo de producir átomos al estado excitado, capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico o una llama.

El espectro de emisión de un elemento expuesto a una de estas fuentes de energía, consiste en una colección de bandas correspondientes a las longitudes de onda permitidas, comúnmente llamadas líneas de emisión, a causa de la naturaleza discreta de las longitudes de onda emitidas.

Este espectro de emisión puede usarse como una característica única para la identificación cuantitativa del elemento. La emisión atómica utilizando un arco eléctrico, ha sido ampliamente empleada en análisis cualitativos.

Las técnicas de emisión también pueden usarse para determinar “cuanto” de un elemento está presente en una muestra.

Para un análisis “cuantitativo” se mide la intensidad de la luz emitida a la longitud de onda del elemento por determinarse.

La intensidad de la emisión a esta longitud de onda será cada vez más alta conforme se incremente el número de átomos del análisis. La técnica de “fotometría de llama” es una aplicación de la emisión atómica en el análisis cuantitativo.

Si luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado excitado, en un proceso conocido como absorción atómica.

Este proceso está ilustrado en la figura 2. La luz que es la fuente de la excitación del átomo es simplemente una forma específica de energía. La propiedad de un átomo de absorber luz de longitud de onda específica, es utilizada en la espectrofotometría de absorción atómica.

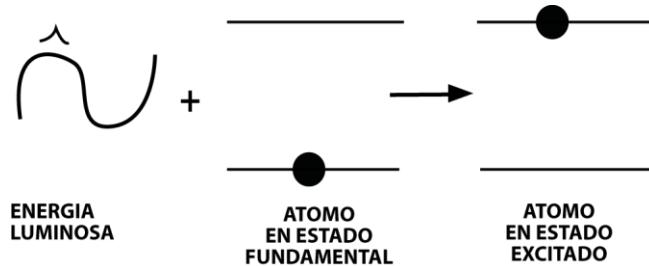


Fig. 2. Proceso de la absorción atómica.

El valor de interés en las medidas de absorción atómica es la cantidad de luz de longitud de onda en resonancia, la cual se absorbe al pasar esta a través de un grupo de átomos. Midiendo la cantidad de luz absorbida, se determina cuantitativamente la cantidad del elemento presente. El uso de fuentes especiales de luz y una selección cuidadosa de la longitud de onda permite una determinación cuantitativa específica de elementos individuales en presencia de otros.

El elemento que se va a muestrear, se disocia de sus enlaces químicos, colocándose en un estado no excitado y en su mínima energía. Para disociar se quema la muestra por analizar en la llama de un quemador.

Bajo condiciones apropiadas de llama, muchos de los átomos permanecerán en la forma de su estado fundamental y serán capaces de absorber luz de longitud de onda apropiada proveniente de una fuente de luz, que se logra con lámparas de cátodo hueco, el cual está revestido con el elemento que se va a analizar. Esta lámpara emite solo la radiación del elemento buscado. La facilidad y la velocidad a la cual se pueden hacer determinaciones exactas y precisas, ha hecho que la absorción atómica sea uno de los métodos más utilizados en la medición de metales en suspensión en otro medio.

### 3.2. Análisis Cuantitativo por Absorción Atómica

El proceso de absorción atómica se ilustra en la figura 3. Luz de longitud de onda en resonancia de una intensidad inicial ( $I_0$ ) se enfoca en la llama, la cual contiene átomos en estado fundamental. La intensidad inicial de la luz es disminuida en una cantidad determinada por la concentración de los átomos en la llama. La luz es entonces dirigida hacia el detector con una intensidad ya disminuida ( $I$ ), donde es medida. La cantidad de luz absorbida se determina comparando ( $I$ ) y ( $I_0$ ).

Distintos términos afines son empleados para definir la cantidad de luz absorbida. La “transmitancia” es definida como la razón de la intensidad final a la intensidad inicial:

$$T = I/I_0 \quad (1)$$

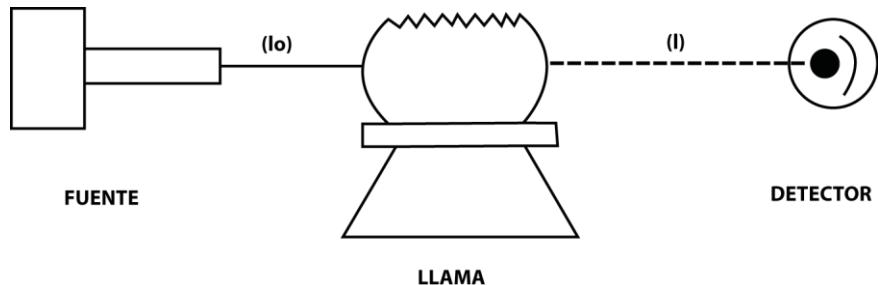


Fig. 3. Proceso de medición por comparación.

La transmitancia es una indicación de la fracción de luz inicial que pasa a través de la llama para incidir en el detector.

El "Porcentaje de transmisión" es simplemente la transmitancia expresada en términos de porcentaje.

$$\% T = 100 * I/I_0 \quad (2)$$

El "Porcentaje de absorción" es el complemento del porcentaje de transmisión y define el porcentaje de luz inicial que es absorbida en la llama.

$$\% A = 100 - \% T \quad (3)$$

El término "Absorbancia", es puramente la expresión matemática.

$$A = \log I/I_0 \quad (4)$$

Absorbancia es el término más conveniente para caracterizar la absorción de luz en la espectrofotometría de absorción, pues esta cantidad guarda una relación lineal con la concentración.

La ley de Beer define esta relación:

$$A = abc \quad (5)$$

En donde "A" es la Absorbancia; "a" es el coeficiente de absorción constante que es característica de las especies que absorben; "b" es la longitud del paso de luz ocupado por la celda de absorción; y "c" es la concentración de las especies absorbentes en la celda de absorción.

Esta conducta, de proporcionalidad directa entre Absorbancia y concentración, es observada en absorción atómica. Cuando la Absorbancia de soluciones patrón conteniendo concentraciones conocidas del analito se miden y se grafican los resultados

de Absorbancia versus concentración, se establece una relación de calibración similar a la figura 4.

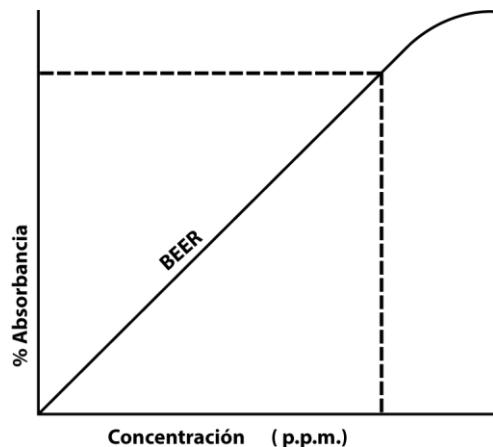


Fig. 4 Ley de Beer.

En la región en la cual se observa la relación de la ley de Beer, la calibración produce una línea recta. Conforme se incrementa la concentración y la absorbancia, comportamientos no-ideales de los procesos de absorción producen una desviación en el desarrollo de la línea recta, como se muestra.

Después que se ha establecido tal curva de calibración, se puede medir la absorbancia en forma porcentual, de soluciones de concentración desconocidas, directamente de la curva de calibración. En la instrumentación moderna, la calibración se puede hacer en el instrumento para proveer una lectura directa en partes por millón (P.P.M.) de la concentración en análisis.

#### 4. Instrumentación para la Absorción Atómica

##### 4.1. Componentes Básicos

El espectrofotómetro opera basándose en el principio de que cada átomo absorbe solo la luz de su longitud de onda.

Para comprender como trabaja un espectrofotómetro de absorción atómica, construyamos uno, pieza por pieza. Cualquier espectrofotómetro de absorción debe tener componentes que cumplan los tres requerimientos básicos. Ellos son: Fuente de luz-celda de muestreo – un medio de medir luz específica.

En absorción atómica, estas aéreas funcionales se implementan con los componentes ilustrados en la figura 5.

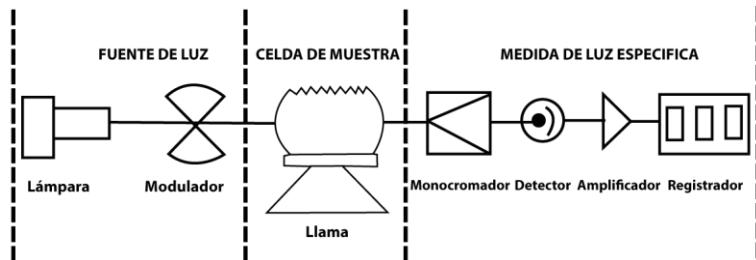


Fig. 5. Áreas funcionales y componentes del espectrofotómetro.

De acuerdo a lo expuesto en la figura anterior, vemos cual es la función que cumple cada uno de los elementos componentes de un espectrofotómetro.

#### ❖ Lámpara de cátodo hueco.

Este cado es de un material igual al del elemento que se muestrea, por lo cual el espectro de un rayo de luz entra en resonancia con los átomos del elemento de la muestra.

#### ❖ Modulador.

Este elemento rotatorio del equipo interrumpe el rayo de luz de la lámpara, convirtiendo la señal emitida en corriente alterna para que la capte el detector.

#### ❖ Quemador.

Este elemento está localizando entre la lámpara del cátodo hueco y el monocromador de modo que la llama se coloca en el rayo de luz; un capilar aspira la muestra introduciéndola a una cámara que la calienta y la nebuliza. Un drenaje expulsa los residuos que no se queman y por la abertura principal del quemador salen las partículas que se queman, disociando los átomos.

La cantidad de luz absorbida por estos átomos libres se miden en el detector electrónico.

❖ **Detector electrónico.**

Se compone de una célula foto-eléctrica que transforma la energía luminosa en eléctrica.

❖ **Detector amplificador de la señal.**

Amplifica y procesa la corriente eléctrica por instrumentos electrónicos, los cuales producen una señal, que es una medida de la atenuación de luz ocurrida en la celda de muestreo. Esta señal es procesada para producir una lectura en la pantalla digital.

❖ **Pantalla Digital.**

Es el lugar donde se lee directamente en unidades de concentración (partes por millón) del elemento buscado.

La cantidad de luz absorbida en la llama es proporcional a la cantidad del elemento presente en la muestra. El espectrofotómetro se calibra para medir el elemento buscado y da lecturas directas en P.P.M. (partes por millón).

**4.2. El Espectrofotómetro de absorción atómica de doble haz**

Básicamente el funcionamiento de un espectrofotómetro de haz sencillo es bueno, sin embargo para que la lámpara catódica emita la señal constante es necesario que esta se caliente y estabilice. El tiempo necesario es de media hora.

En el sistema de doble haz, el rayo procedente de la lámpara catódica se divide en 2 haces, uno pasa directamente al monocromador y el otro haz pasa a través de la llama; esto ocurre desde el momento que comienza a funcionar la lámpara y aunque la señal emitida no sea constante, como los dos haces varían siempre en la misma proporción, la señal resultante (la diferencia entre ambos) en el medidor será constante.

Con este sistema no es necesario esperar más de 3 minutos para que la lámpara se caliente.

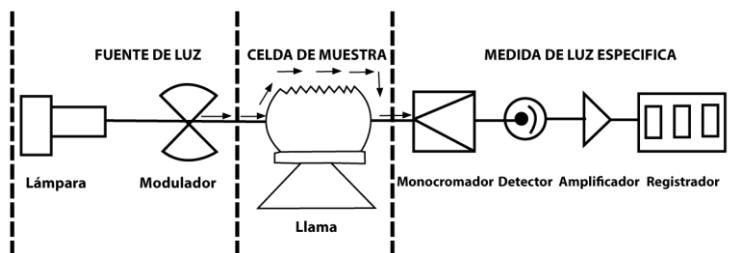


Fig.6. Espectrofotómetro de Absorción Atómica de Doble Haz.

En los espectrofotómetros modernos se utiliza un modulador, que es un espejo recortado que hace pasar alternativamente el haz a través de la llama y fuera de ella, ver Fig. 6. Al llegar al monocromador el haz de “muestra” y de “referencia” se unen y se toma la relación entre ambos.

#### 4.3. Diseños de la Instrumentación

La técnica de la espectrofotometría por absorción atómica se desarrolló en 1955 en Australia.

El diseño de los instrumentos necesarios y sus principios de funcionamiento se explica a continuación.

##### ❖ Lámparas de cátodo hueco

Actualmente todos los elementos con excepción de los alcalinos se determinan con lámparas de cátodo hueco.

Esquemáticamente la lámpara de cátodo hueco para un solo elemento, consta de un componente activo que es el cátodo revestido fabricado con el elemento que se va a muestrear.

El cátodo de la lámpara es un cilindro hueco, cuyo espectro debe producirse. El ánodo y el cátodo se encuentran en un cilindro de vidrio o cuarzo sellado y lleno, ya sea de neón o argón. Al extremo del cilindro se ha fundido una ventana transparente a la radiación emitida. (Ver figura 7).

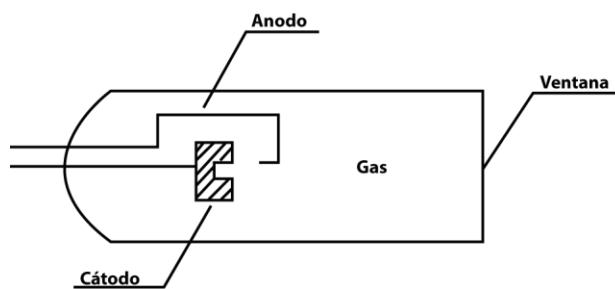


Fig.7. Lámpara de cátodo hueco.

Cuando se aplica un potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo, los átomos metálicos del cilindro (cátodo) son despedidos hacia el espacio frontal interno de la lámpara y los átomos del gas de relleno se ionizan. Los choques con los iones de neón o

argón producen una excitación en parte de los átomos metálicos y por lo tanto la emisión de su onda característica.

La selección del gas de relleno depende del elemento metálico así el plomo, el hierro y el níquel dan mejores resultados con neón que con argón.

Sin embargo el neón puede utilizarse con elementos como el litio y el arsénico, debido a que la onda de omisión del neón está muy cerca a la mejor línea de resonancia de dichos elementos.

#### ❖ Modulador

La luz proveniente de lámpara de cátodo hueco pasaba a través de la llama, después de la cual la longitud de onda de resonancia se aislabía mediante un monocromador o filtro y luego incidía sobre el detector y amplificador. Los primeros instrumentos de absorción atómica estaban construidos de acuerdo a este sistema y funcionaban lo suficientemente bien, como el sistema de haz continuos, pero se observaron ciertos problemas con el sistema debido a la emisión de la llama. En absorción atómica se considera que la llama idealmente es, una cámara de muestra calentada que no debería emitir radiación, sin embargo, no es así en la práctica, ya que la llama tiene emisión. Esta radiación confunde al detector, dado que no puede distinguir entre un fotón que proviene de la lámpara y otro proveniente de la llama. Por esta razón se desarrolló el uso del modulador.

Con el uso del modulador rotatorio de luz de la lámpara catódica se interrumpe, mientras que la luz de la llama queda inalterada.

La luz interrumpida por el modulador giratorio produce una corriente alterna en el detector. El círculo electrónico diseñado para amplificar tan solo corriente alterna ignora la señal proveniente de la llama.

El modulador puede ser óptico, lográndose el mismo efecto que si opera la lámpara de corriente pulsante.

Los espectrofotómetros modernos utilizan un modular que es un espejo recortado, que hace pasar alternativamente el haz a través de la llama y fuera de ella.

#### ❖ Quemadores

Son los elementos más importantes de la instrumentación para absorción atómica. Los principales criterios de diseño son:

Estabilidad: La absorción para una concentración dada en P.P.M. debe permanecer constante en todo momento.

Sensibilidad : Debe tener una alta absorción para una concentración determinada.

Sonido : El quemador debe ser silencioso y no debe producir fluctuaciones

en la llama.

- |   |   |   |
|---|---|---|
| Habilidad para Quemar soluciones Concentradas | : | En muestras reales, el límite de detección generalmente se fija con base a la concentración máxima tolerable.   |
| Libertad de Memoria                           | : | El contenido de una muestra no debe afectar el resultado de la muestra siguiente.   |
| Libertad de señal de fondo                    | : | Debe tener muy poca o ninguna absorción de parte de la llama y del líquido blanco (xileno) que se usa generalmente para programar el equipo.  |
| Linearidad                                    | : | Las curvas de trabajo de concentración versus absorbancia deben ser rectas en el mayor rango posible.   |
| Versatilidad                                  | : | Deben poder responder a un gran número de elementos y tipos de muestra con el mismo quemador.   |
| Velocidad de Respuesta                        | : | En casos en que se disponga de muy poca cantidad de muestra se debe lograr el valor de la absorción al poco tiempo de quemar la muestra.  |
| Mínimo de emisión                             | : | La llama no debe producir un error fotométrico, ya que una emisión muy elevada de parte de la llama producirá fluctuaciones en la respuesta. Una llama muy brillante produce fluctuaciones. |

El quemador utilizado en la actualidad, es el llamado de pre-mezcla, en el cual la muestra de lubricante disuelto, el combustible (acetileno) y el oxidante (aire u óxido nitroso) se mezclan en la cámara antes de entrar en la llama. Ver figura 8.

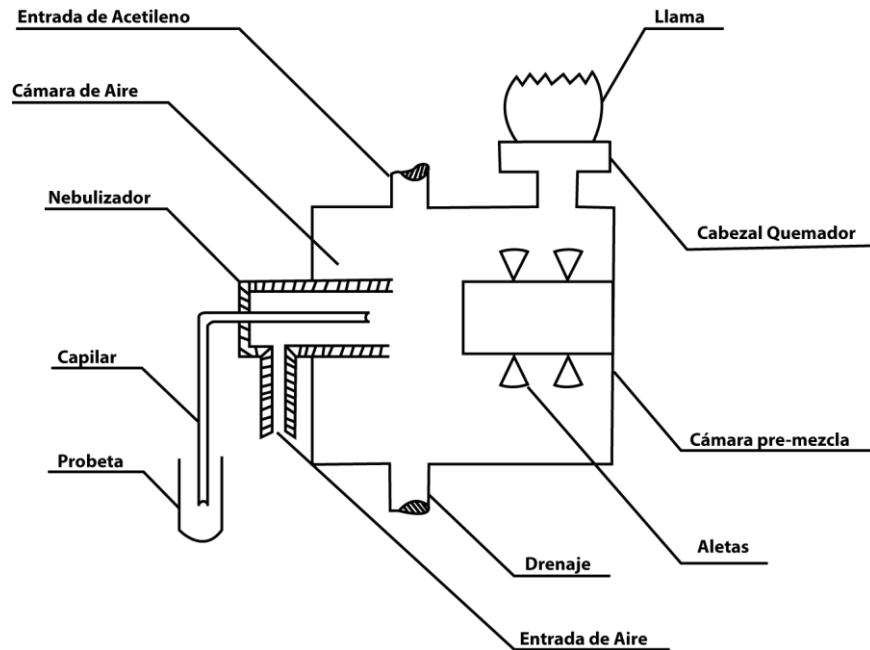


Fig. 8. Quemador.

El espectrofotómetro Perkin Elmer 2380 que nosotros utilizamos usa este tipo de quemador y sirve para usar aire con acetileno u óxido nítrico – acetileno, esta última mezcla es la adecuada para disociar átomos de elementos que necesitan altas temperaturas (aluminio, silicio, etc.).

Por la característica de su diseño, la longitud del capilar de succión no es un elemento crítico, por lo cual no hay relación entre la velocidad de aspiración (3 ml/minuto) de la muestra y de la absorción.

La cámara de mezcla está fabricada de penton, un plástico extraordinariamente inerte, que no contamina la muestra.

#### ❖ Monocromador

Los monocromadores dejan pasar solo la línea de resonancia y bloquean las no resonantes para lograr una curva lineal. El sistema de lectura, debe cumplir con la ley de Beer “la concentración es proporcional al logaritmo negativo de la absorción en un rango amplio de concentraciones”.

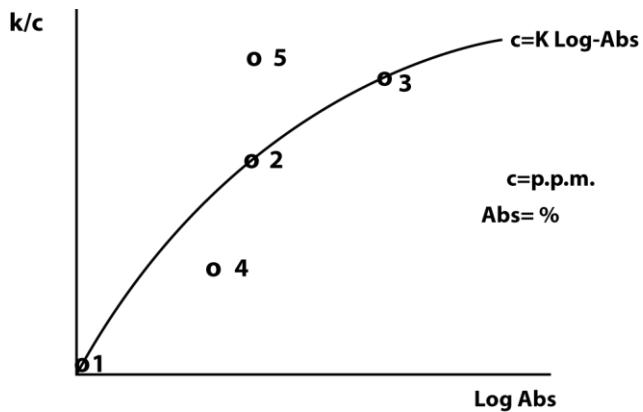


Fig. 9. Curva de lectura.

Graficando la ley de Beer se introducen 3 puntos en el lector digital del espectrofotómetro.

Punto N° 1: Líquido que no tiene concentración (xileno)  
 Puntos N° 2 y 3: Con concentración patrón.

Luego se prepara la muestra real del aceite de la máquina, en la misma proporción de dilución con Xileno para que los valores de absorbancia queden dentro de la curva, según el grado de contaminación, pudiendo obtener puntos como:

Punto N° 4: Baja concentración.  
 Punto N° 5: Alta concentración.

Sin embargo estos puntos no indican lo que está ocurriendo a la máquina, indica solo las concentraciones en P.P.M. de las partículas de desgaste.

## 5. Requisitos y Funcionamiento del Laboratorio

### 5.1. Diseño del Laboratorio

Para poder aplicar la espectrofotometría de Absorción Atómica en el desarrollo de un servicio que permita dar mantenimiento preventivo a las máquinas de los usuarios es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

- ❖ Selección del equipo del laboratorio.
- ❖ Normar los procedimientos del laboratorio.

- ❖ Establecer patrones de desgaste.
- ❖ Normar la interpretación de los resultados.

## **5.2. Selección del equipo de laboratorio**

El equipo necesario es el siguiente:

- ❖ Un espectrofotómetro.
- ❖ Un probador de contaminación de petróleo.
- ❖ Un detector de agua.
- ❖ Un vibrador para batir muestras.
- ❖ Material diverso (jeringas – probetas – frascos – mangueras).

## **5.3. Preparación de las muestras**

Las muestras se registran y codifican en botellas plásticas. Luego se colocan en el vibrador. A continuación se usan las jeringas calibradas para sacar cantidades exactas de la muestra y se introduce en probetas donde se diluyen con xileno.

## **5.4. Prueba de contaminación de combustible**

De acuerdo de la temperatura en que se produce el encendido de unas gotas de la muestra disuelta se comprueba el porcentaje de combustible en el aceite del motor.

## **5.5. Prueba de contaminación de agua**

Se usa un detector que está controlado a una temperatura específica y calibrado con muestras patrón con contaminación de 0,1% de agua. La muestra real se compara con el patrón.

## **5.6. Prueba en el espectrofotómetro**

En el espectrofotómetro se busca la concentración de partículas de contaminación en P.P.M. (partes por millón) en el lubricante. Los elementos buscados son:

Hierro (Fe) / Cobre (Cu) / Cromo (Cr) / Aluminio (Al) / Silicio (Si) / Plomo (Pb) /  
Magnesio (Mg) / Molibdeno (Mo) / Sodio (Na)

Las muestras son diluidas en xileno, al igual que las muestras patrón. El espectrofotómetro, se calibra para leer concentraciones de todos los elementos de 0 a 400 PPM, introduciendo al lector digital una curva de Concentración/Absorbancia usando el Xileno para encontrar el punto cero y dos estándares Caterpillar. La muestra real debe

caer en la curva. Aquellas muestras que se salen del rango por mucha concentración se diluyen en mayor proporción para alcanzar la curva. La llama de aire – acetileno se usa para disociar cobre, hierro, cromo, plomo, magnesio y sodio. La llama de óxido nitroso – acetileno se usa para el silicio, aluminio y molibdeno.

### **5.7. Resumen del Procedimiento de pruebas.**

- ❖ Se coloca la lámpara con un cátodo igual al elemento a muestrear. Se ajusta la corriente.
- ❖ Se ajusta la frecuencia.
- ❖ Se gradúa el quemador para que la llama INTERFIERA con el haz de la lámpara.
- ❖ Se ajusta la llama, que marque cero con xileno.
- ❖ Se aspiran los estándares del elemento, y se comprueba en el lector. Las P.P.M., programando la curva absorbancia/concentración.
- ❖ Se aspira la muestra sacada de la máquina y luego se lee la absorbancia en el indicador en PPM.

Tabla1. Tabla de corrientes por elemento

Elemento	Corriente mínima de operación
Cobre (Cu)	15 miliampères
Hierro (Fe)	30 miliampères
Cromo (Cr)	25 miliampères
Aluminio (Al)	25 miliampères
Silicio (Si)	40 miliampères
Molibdeno (Mo)	30 miliampères
Plomo (Pb)	10 miliampères
Sodio (Na)	8 miliampères
Magnesio (Mg)	6 miliampères

Los resultados de los análisis deben ser comparados con valores estándares obtenidos de máquinas similares en condiciones similares de operación. Para ello es necesario:

- ❖ Establecer tablas de la composición metálica de los compartimientos donde se toman las muestras.
- ❖ Establecer tablas con los patrones o estándares, de máquinas en condiciones normales y en valores límites de desgaste.
- ❖ Establecer patrones de interpretación de los resultados cruzando información a fin de obtener la recomendación más certera.

### **5.8. Estableciendo Patrones de Comparación**

Conociendo la composición metálica de los compartimientos se pueden establecer patrones para condiciones normales de operación, manteniendo las concentraciones de partículas de desgaste casi constantes mientras no ocurren fallas por fatiga o se inicia desgaste progresivo.

Conforme se inicia el envejecimiento de la máquina, se irán encontrando concentraciones progresivamente más altas por el desgaste.

Estas concentraciones se elevan hasta alcanzar valores límites en que es necesario desarmar y cambiar los componentes críticos próximos a fallar.

Luego de las reparaciones los valores de desgaste también son elevados, igual a los de una maquina nueva por aproximadamente 250 horas, hasta que asientan las piezas en contactos o desaparecer la contaminación por la manipulación de los mecánicos.

### **5.9. Interpretación de Resultados**

Para interpretar los resultados se debe tomar en cuenta, lo siguiente:

- ❖ Los materiales del componente muestreado.
- ❖ La capacidad del lubricante, cuanto mayor es la capacidad la concentración será más baja.
- ❖ La carga de trabajo – con nuevas cargas habrá menos desgaste.
- ❖ Los periodos de cambio – si se prolongan los cambios aumentan las concentraciones.

## **6. Procedimiento del Análisis Programado de Desgaste**

### **6.1. Toma de Muestras**

Esta fase del programa queda en manos del cliente, por lo cual al entregar el equipo necesario para muestrear, que consiste en: Bomba manual de vacío, tubos de polietileno, botellas plásticas, envases de cartón, etiquetas autoadhesivas y cajas metálicas, siempre se entregan instrucciones haciendo hincapié en los siguientes puntos:

- ❖ Operar la maquina hasta que llegue a su temperatura de operación.
- ❖ Prepare las botellas, mangueras y etiquetas con los datos de la máquina.
- ❖ Arme la bomba de succión y tome la muestra por el tubo de la varilla de nivel de aceite.
- ❖ Llene la botella hasta  $\frac{3}{4}$  parte de su volumen para no contaminar la bomba.
- ❖ Deseche la manguera o tubo plástico y envíe la botella al laboratorio.

## **6.2. Muestras Iniciales**

Una vez inscrita una maquina en el A.P.D. se deberá tomar muestras de los compartimientos. Estas muestras serán realizadas por personal de Gildemeister S.A.C. a modo de instrucción al personal del cliente sin cargo alguno para el usuario.

El análisis inmediato de las muestras iniciales, establecerá las condiciones de desgaste de cada compartimiento y servirá para identificar posibles problemas existentes a la fecha de inscripción. Además se deberá tomar muestras de aceites “nuevos” usados por el cliente, para establecer el nivel de elementos metálicos usados en los aditivos.

## **6.3. Muestras Normales.**

Después de las muestras iniciales, se comienzan a tomar muestras con cada cambio de aceite.

Los periodos de las muestras normales son:

- ❖ Motor: En cada cambio o cada 125 hrs.
- ❖ Otros compartimientos: Cada 500 horas.

## **6.4. Muestras Especiales**

En algunos casos el laboratorio puede pedir la repetición de una muestra, para comprobar una lectura anormal.

Cada vez que un nuevo lubricante es seleccionado, muestras de este deben enviarse al laboratorio. El registro del aceite nuevo será actualizado y usado como suplemento en los futuros análisis.

En el caso de la maquinaria nueva o reparada, se deberá sacar muestras cada 50 horas durante el primer cambio de aceite del motor y cada 250 horas en los demás compartimientos, para comprobar que todas las piezas se están asentados correctamente.

## **6.5. Período de Garantía**

Durante los primeros 6 meses o 1000 horas del periodo de garantía de los equipos Caterpillar, los análisis se realizarán sin cargos para el cliente. En este período se podrán realizar hasta nueve análisis en el caso de los motores y hasta 21 análisis de compartimientos en una máquina, pero mediante la firma de un contrato por prestación de este servicio.

## **6.6. Componentes de Máquinas que se Analizan**

Este servicio está dirigido específicamente a determinar niveles de desgaste, mediante el análisis de aceite, de los siguientes componentes:

- ❖ Motor
- ❖ Transmisiones
- ❖ Sistemas hidráulicos
- ❖ Mandos finales
- ❖ Diferenciales

## **6.7. Análisis en el Laboratorio**

Al recibir el laboratorio las muestras enviadas estas son sometidas al siguiente procedimiento:

- ❖ Recpcionando las muestras el laboratorista califica para su procesamiento.
- ❖ Pondrá las muestras en el vibrador para uniformar el contenido.
- ❖ Luego preparará las soluciones con Xileno en las proporciones requeridas colocándolas en probetas.
- ❖ Luego efectuará las pruebas de contaminación de agua.
- ❖ Si es lubricante de motor efectuará la prueba de contaminación por petróleo (dilución).

Procederá a analizar en el espectro fotómetro en el siguiente orden:

- ❖ Por cobre con aire/acetileno
- ❖ Por hierro con aire/acetileno
- ❖ Por cromo con aire/acetileno
- ❖ Por plomo con aire/acetileno
- ❖ Por magnesio con aire/acetileno
- ❖ Por sodio con aire/acetileno
- ❖ Por aluminio con óxido nitroso/acetileno
- ❖ Por silicio con óxido nitroso/acetileno
- ❖ Por aluminio con óxido nitroso/acetileno
- ❖ Por molibdeno con óxido nitroso/acetileno

Luego de efectuado los análisis procederá a entregar los resultados al analista marcado los resultados anormales.

## **6.8. Interpretación de los Análisis.**

El Analista al recibir los reportes del laboratorista procederá a:

- ❖ Darle interpretación utilizando los patrones de desgaste.
- ❖ Comparará los resultados del análisis con los resultados anteriores.
- ❖ Llamará por teléfono a Télex al usuario si los resultados requieren acción inmediata.
- ❖ Enviará por carta el informe al usuario y ordenará el archivo de las copias.

#### 6.9. Información a Clientes

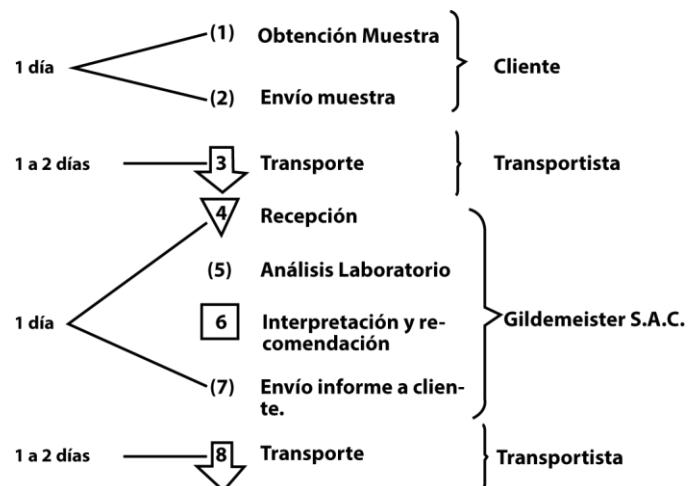
Copia de todos los informes son archivados en el laboratorio, una por cada compartimiento de cada una de las máquinas inscritas en el programa. La copia que se envía el cliente llevará la historia de los análisis de aceite, contaminación, taza de consumo de aceites, registro de los cambios de aceites y el consumo de combustibles.

En condiciones normales las muestras serán procesadas dentro de las 24 horas después de recibidas.

Si el análisis indicara problemas críticos, el laboratorio se comunicará con el cliente por la vía más rápida posible.

Para los análisis de muestras normales del cliente de sucursales o agencias, la información de será enviada al Representante de Ventas de Repuestos y Servicios en el correo diario.

El ciclo de esta muestra está estimado entre 4 y 6 días hábiles, según el lugar donde esté ubicado el cliente. Para efecto de este cálculo se considerarán 4 etapas de las cuales una es responsabilidad del cliente, dos son del sistema de transporte y una de Gildemeister.



## 7. Conclusiones

Caterpillar fue el primer fabricante de equipos de movimiento de tierra y motores en presentar el análisis de aceite, y desde que ofreció el Análisis Programado de Desgaste (A.P.D.) en 1970, el programa ha demostrado efectividad, beneficiando a nuestros clientes en cosas, tales como:

- ❖ APD reduce los costos de repuestos y mano de obra. El costo de reacondicionamiento de un motor o una transmisión, cuando el APD indica que se está desarrollando un problema, puede ser la mitad o la cuarta parte del costo de reacondicionamiento del componente, si se permite que la falla progrese.
- ❖ APD ayuda a mejorar la productividad. Los clientes pueden mantener sus máquinas en óptimas condiciones de operación y aumentar su vida útil.
- ❖ APD ayuda a mejorar los Programas de Mantención Preventiva de nuestros clientes, al tener que llevar registros, de cada máquina inscrita sobre:
  - Fecha de cambio de aceite.
  - Horas trabajadas de la máquina.
  - Horas del último cambio de aceite.
  - Cantidad de aceite agregado entre cambios.
  - Cantidad de combustible consumido.
- ❖ APD le permite a nuestros clientes optimizar la información en los archivos de hoja de vida de cada equipo, al obtener periódicamente el resultado de un análisis científico de la condición de desgaste en que se encuentran los elementos que componen cada uno de ellos.
- ❖ APD en combinación con nuestro Servicio de Mantención Preventiva (SMP) es la mejor arma con que un usuario cuenta, para mantener sus equipos en óptimas condiciones de operación; ya que SMP es un Análisis Técnico del estado operacional y de rendimiento de una maquina o motor, en base a una inspección instrumental de Diagnóstico Mecánico.

Nuestros clientes confían en el A.P.D. para ayudarle a dirigir un programa efectivo de mantención y reducir las paralizaciones no programadas. Al saber que un componente está empezando a fallar, se puede planificar cuando detener la máquina, para las reparaciones necesarias.

A modo de ejemplo, hemos seleccionado 2 casos en que nuestros clientes se vieron favorecidos por nuestro programa A.P.D.

- ❖ Caso N° 1

Cliente: Sociedad Minera Pudahuel  
Lugar de trabajo: Mina Lo Aguirre  
Equipo: Cargador 988B, serie 50W 1167  
Compartimiento: Transmisión  
Tipo de trabajo: Carguío de camiones  
Problema: Aumento de partículas de aluminio en el aceite de una transmisión.

A las 7.995 horas se detectó una leve alza en el contenido de aluminio en el aceite, por lo cual se recomendó tomar una nueva muestra de aceite a las 150 horas.

La nueva muestra tomada a las 8148 horas, 153 horas después y las lecturas de aluminio indicaban un fuerte aumento.

Se recomendó la revisión de los filtros por la probable presencia de partículas mayores, observar la temperatura del convertidor y el envió inmediato de otras muestras. A las 8187 horas se tomó la nueva muestra encontrándose que el aluminio nuevamente había subido. Se recomendó la observación del equipo y su detención para repararlo.

La causa del alto contenido de aluminio era el desgaste que se había iniciado en el convertidor.

La detección a tiempo del equipo evitó la destrucción del convertidor permitiéndose una reparación de costo menor. De no haber detenido a tiempo el equipo se habría tenido que reemplazar el convertidor por uno nuevo.

❖ Caso N°2

Cliente: Codelco Chile – División El Teniente  
Lugar de trabajo: La Yesca  
Equipo: Cargador 910, serie 80U 5779  
Compartimiento: Motor  
Tipo de trabajo: Movimiento de tierra

❖ Problema N°1: Aumento de cromo en el aceite

A las 3450 horas se detectó un leve aumento de cromo en el aceite. Se recomendó no operar a plena carga la maquina sin antes haber alcanzado la temperatura normal de operación y no operar por tiempos prolongados la maquina en vacío o bajas revoluciones. La causa del problema era la operación incorrecta del equipo y con solo adoptar las recomendaciones dadas por el problema se evitó el desgaste de anillo y vástagos de válvulas, lo cual habría llevado en un plazo corto a fallas de alto costo y a una paralización prolongada.

❖ Problema N°2: Aumento de FE, CR, AL, SI y CU en el aceite.

A las 3.978 horas se detectó el inicio de desgaste de camisa, el anillo y pistones. Se recomendó la revisión de filtros de aceite para detectar partículas mayores, efectuar un chequeo del motor con instrumental (SMP) Y una revisión del sistema de admisión de aire. Se pidió el envío de una nueva muestra a las 50 horas. En esta nueva muestra habían disminuido los niveles de elementos de desgaste, gracias a la corrección de problemas en el sistema de admisión de aire.

A las 4443 horas y a las 4928 horas se volvió a detectar niveles altos de Fe, Cr, Al, Si y Cu, producto de paso de polvo al sistema de admisión de aire.

A todos los casos la recomendación oportuna de revisar el sistema de admisión de aire, evitó el desgaste prematuro de camisas, pistones, anillos y otras piezas produciéndole al cliente un ahorro significativo en repuestos, obra de mano y paralización del equipo. Gracias al APD el equipo se mantuvo funcionando sin problemas.

A estos clientes y muchos otros el APD, les ha demostrado su efectividad y que realmente es un medio para disminuir costos.

# Alternativas De Control De Combustión En Calderas Industriales

Iván Pezoa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Área de Instrumentación y Automatización, Escuela Tecnológica, USACH, Chile.

**Resumen.** Las calderas industriales son usadas para satisfacer las demandas de vapor de una planta. En años pasados, solamente las grandes industriales podían justificar controles de combustión sofisticados, pero actualmente el alto costo de los combustibles y las leyes gubernamentales respecto a la contaminación atmosférica han hecho necesario sistemas de control de combustión que aseguren economía de combustibles, seguridad y confiabilidad para responder rápidamente a cambios de la demanda en cualquier circunstancia de carga en el proceso.

## 1. Introducción

Los controles de combustión son necesarios para regular el flujo de combustible y aire del hogar de una caldera. Su objetivo es adecuar las demandas de vapor de la planta con la más alta eficiencia en la combustión. Esto es efectuado generalmente regulando la cantidad de combustible entregado al hogar y asegurando que el correspondiente flujo de aire sea el suficiente para completar la combustión, pero no tan excedido para evitar la pérdida de calor en los gases de chimenea. La importancia de minimizar el exceso de aire es tal, que por cada 1% de reducción de oxígeno en la chimenea, la eficiencia que se gana debido a la reducción de pérdida de calor es aproximadamente 0,5%.

La figura 1, muestra un esquema de un sistema de control de combustión por medio de calderas múltiples.

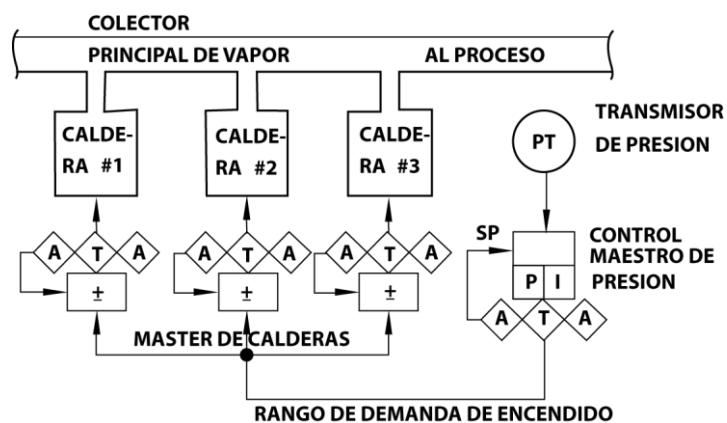


Fig. 1. Esquema de control de combustión en instalación de calderas múltiples

La presión de vapor en el colector es la variable principal y es sensada por un transmisor de presión que la envía como variable del proceso al controlador Master de Presión. Este controlador principal compara la medición con un setpoint y entrega una salida que es la señal de demanda de rango de encendido. Esta señal es transmitida en paralelo a cada Master de caldera de cada unidad, para ser usada al inicio del comando de las válvulas de control de flujo de combustible y las compuertas de aire.

El Master de Presión tiene generalmente dos modos de control: Proporcional más Integral (P.I.).

## 2. Master En Calderas

La señal de demanda de rango de encendido es transmitida un Master de caldera de cada unidad que alimenta el colector principal. Este Master está generalmente configurado como una estación Automática/Manual que puede proporcionar tres funciones:

Primero, permite que el controlados Master depresión, un control para cada caldera en el sistema automático cuando el mantes de caldera está en modo automático. Segundo, permite al operador un ajuste del rango de demanda de encendido para cada caldera individual cuando el Master de caldera está en modo manual. Tercero, proporciona un ajuste manual de nivel de carga de cualquiera de las calderas a un punto por debajo del cual el control de combustión de caldera no ajuste de combustible y aire dentro del hogar.

Hay dos tipos de control de combustión:

- ❖ De posicionamiento directo.
- ❖ De dosificación.

Estos sistemas de control de combustión tienen dos subsistemas:

Subsistemas de control y Subsistemas de control de aire de combustión en cual puede incluir corrección automática de oxígeno.

Los siguientes párrafos describen los dos tipos de control de combustión y la corrección automática de oxígeno.

## 3. Posicionamiento directo

La señal de demanda de rango de encendido del controlador Master de Presión se trasmite directamente a la válvula de combustible y la compuerta de aire en un posicionamiento directo al sistema de control de combustión. Como el flujo de combustible y el flujo de aire no son mediciones, este tipo de sistema usa un lazo abierto de control.

El sistema de contra ejes del control de combustión se muestra en la figura2

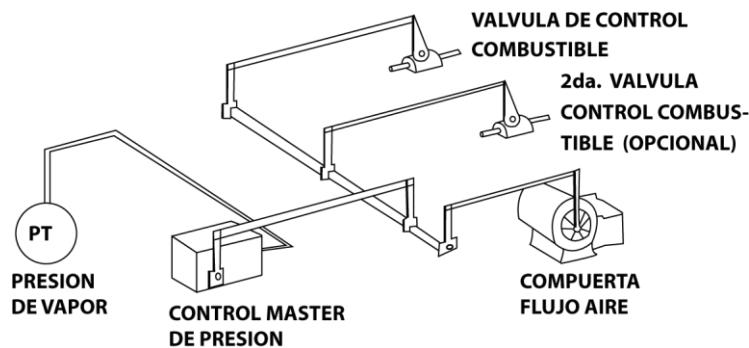


Fig. 2. Sistema de palancas para posicionamiento directo del control de combustión con razón aire/combustible por medio de un Master de presión

Este sistema usa palancas mecánicas para transmitir la señal de rango de encendido desde el controlador Master de presión a la válvula de combustible y a la compuerta de aire. La razón aire/combustible se establece por un sistema articulado mecánico. Este sistema es común en calderas pequeñas donde la demanda es casi constante.

Otro tipo de posicionamiento directo es el control de combustión es el mostrado en la figura 3.

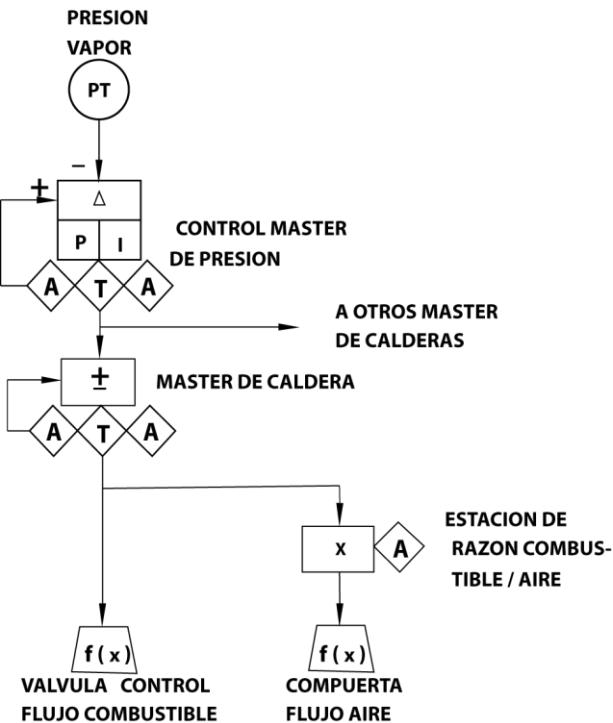


Fig. 3. Control de combustión con posicionamiento directo implementado con instrumentos neumáticos o electrónicos.

En este caso se han reemplazado las palancas mecánicas con instrumentos neumáticos o electrónicos.

El controlador Master depresión proporciona la señal de demanda de rango de encendido directamente a la válvula de combustible y a la compuerta de aire cuando el Master de caldera está en modo automático. La válvula de combustible y la compuerta de aire tienen topo es mecánicos que permiten prefijarlos en ciertas posiciones. La señal de demanda de rango encendido hace que la válvula de combustible y la compuerta de aire se mueven entre estos límites y proporcionen un flujo predeterminado.

Además, en un sistema de este tipo, el operador puede ajustar la razón aire/combustible.

El controlador de combustión de posicionamiento directo opera satisfactoriamente cuando el combustible tiene calores constantes de B.T.U. Si estos valores cambian, las posiciones prefijadas de aire y combustible no cambian automáticamente y hay que ajustar nuevamente el sistema.

## 4. Control de combustión dosificado

Este sistema de control de combustión usa un lazo de control cerrado. Hay tres tipos de sistemas: serie, paralelo y adelanto-retardo (o de límites cruzados).

### 4.1. Dosificación de serie

Este sistema de control de combustión se ilustra en la figura 4. Es un sistema de lazo cerrado donde el controlador Master de Presión entrega la señal de demanda de rango de encendido con un set-point remoto al controlador de flujo de combustible. La señal de salida de este controlador posiciona correctamente la válvula de combustible. El transmisor de flujo de combustible detecta los cambios de flujo y envía la señal de proceso al controlador de flujo de combustible y a la estación de razón combustible/aire. Esta estación de razón permite al operador hacer correcciones en la señal de flujo de aire. La señal de salida de este controlador opera sobre la compuerta para cambiar el flujo de aire.

Uno de los defectos que tienen la dosificación-serie es que los flujos de combustible y aire no responden en forma simultánea a los cambios en la demanda de rango de encendido. Un aumento en la señal de la demanda permite que el flujo de combustible aumente antes que aumente el flujo de aire y esta condición hace que la mezcla en el hogar se sature de combustible con malas consecuencias para la combustión.

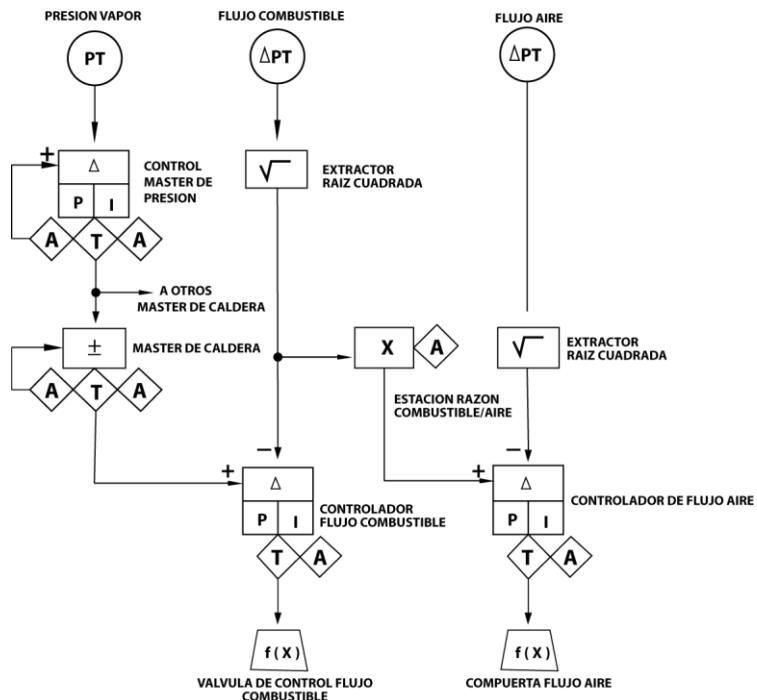


Fig. 4. Control de combustión por Dosificación Serie.

El sistema dosificación-serie para el control de combustión puede cambiarse también de tal forma que el controlador Master de Presión envíe la señal como set-point remoto al controlador de flujo de aire en vez del controlador flujo combustible. Haciendo los ajustes necesarios en la estación de razón, la salida de esta estación va a ser el set-point remoto al controlador de flujo de combustible. Sin embargo, con esta disposición, un aumento de la demanda va a hacer que el flujo de aire aumente antes que el flujo de combustible saturado nuevamente el hogar en una condición menos peligros, eso sí, que la anterior. A causa de estos problemas, el sistema de combustión-serie ya no se explica, pero puede encontrarse en algunas instalaciones antiguas.

#### 4.2. Dosificación paralelo

Comparado con el sistema dosificación-serie, proporciona un control más cerrado en relación combustible/aire, y una mejor respuesta a los cambios de demanda de vapor.

El control de combustión Dosificación Paralelo hace que la válvula de combustible y la compuerta de aire se ajusten en forma simultánea. Como se ilustra en la figura 5 el controlador Master de Presión proporciona la señal de demanda como unos set-point remotos a ambos controladores (Flujo aire y Flujo combustible). La señal de salida de estos controladores opera la válvula de combustible y la compuerta de aire.

La estación de razón combustible/aire permite al operador hacer ajustes en la señal de flujo aire que representa la variable de proceso al controlador de flujo de aire. Este ajuste de la estación de razón puede también complementarse por el ajuste del set point remoto al controlador de flujo de aire.

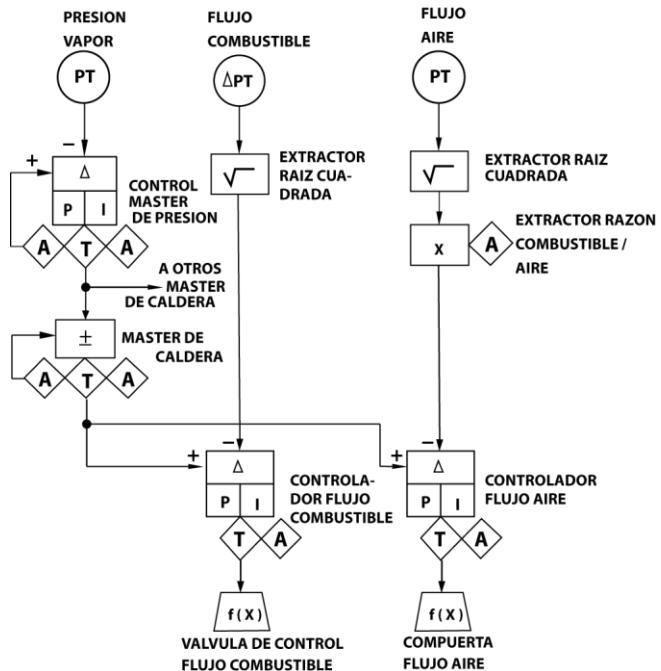


Fig. 5. Control de Combustión por Dosificación Paralelo

Como los set point remotos son transmitidos en paralelo, los controladores de flujo de combustible y flujo de aire pueden entregar correcciones a sus elementos de control final en forma separada y con rangos diferentes. Estos diferentes rangos de ajuste pueden crear disturbios transientes en la razón aire/combustible en el hogar.

#### 4.3. Dosificación paralelo de límites cruzados

Llamado también de Dosificación Adelanto-Retardo y considerado el más seguro de los sistemas serie-paralelo porque impide mezclas ricas en combustible en el hogar. Este tipo de control de combustión es el que normalmente se especifica hoy día, independiente del tipo de caldera, tamaño o clase de combustible a quemar.

Como se muestra en la figura 6 el controlador Master de Presión proporciona la señal de demanda, a través del Master de Caldera y los selectores de señal alta y baja. La función de control de esta señal selectora es llamada “combustible y aire de límites cruzados”. El selector de señal alta recibe la señal de flujo de combustible como una entra y su salida es el set-point remoto del selector de señal de alta proporciona el set-

point remoto al control de flujo de aire y el selector de señal baja cierra la señal de demanda el controlador de flujo de combustible. Inmediatamente el flujo de aire empieza aumentar, de igual manera como aumenta la señal de demanda. El selector de baja ajusta el aumento de la señal de flujo o combustible después que ha aumentado el flujo de aire.

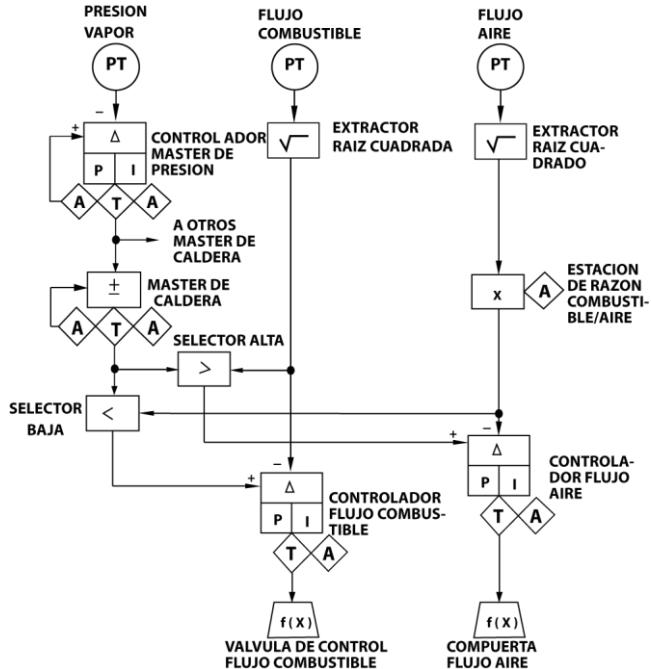


Fig. 6. Control de combustible dosificación paralelo de límites cruzados

Cuando la señal demanda decrece, el selector de baja proporciona el set-point remoto al controlador de flujo de combustible y el selector de alta cierra de señal de demanda el controlador de flujo de aire. El flujo de combustible inmediatamente decrece y la señal de demanda decrece. El selector de alta ajusta la disminución de la señal de flujo de combustible al controlador de flujo de aire disminuye el flujo de aire. Por lo tanto, el flujo de combustible disminuye antes de que disminuya el flujo de aire.

Si por causa de falla el flujo de aire disminuye, el selector de baja transmite esta señal al controlador de flujo de combustible, el cual disminuirá proporcionalmente, independientemente de la demanda, y evitando las mezclas ricas en el hogar.

Este sistema se usa con calderas de varios tamaños, cuando la demanda de carga fluctúa ampliamente, cuando la mezcla rica de combustibles es absolutamente intolerable o cuando un control de razón Combustible/aire requiere de máxima eficiencia.

Prescindiendo de cual grande o pequeño sea el cambio de carga, este control de combustible mostrado en la figura 6, tiene la desventaja de respuesta a los cambios de carga en los rangos lentos (espacios) por la forma de reaccionar el elemento final del control. Por ejemplo, pensemos que la señal de demanda aumenta levemente a

pequeños aumentos de demanda de vapor. Con el sistema actual, la compuerta de aire aumenta el flujo de aire y posteriormente aumentaría el flujo de combustible por la acción de la válvula de control. Sin embargo, si la compuerta de aire es pesada, no va a responder a esos pequeños aumento de la señal de demanda. Como no cambia el flujo de aire, el flujo de combustible cambia y no ocurre ningún cambio en el rango de encendido.

Para obtener una respuesta rápida a estos bajos porcentajes de cambio de carga, el sistema de control de combustión dosificación paralelo límites cruzadas se le agrega lo mostrado en la figura 7. En este sistema, módulo de ajuste y ganancia caracteriza las señales de flujo aire y combustible en vez de que estas señales vayan directamente a los selectores de alta y baja señal.

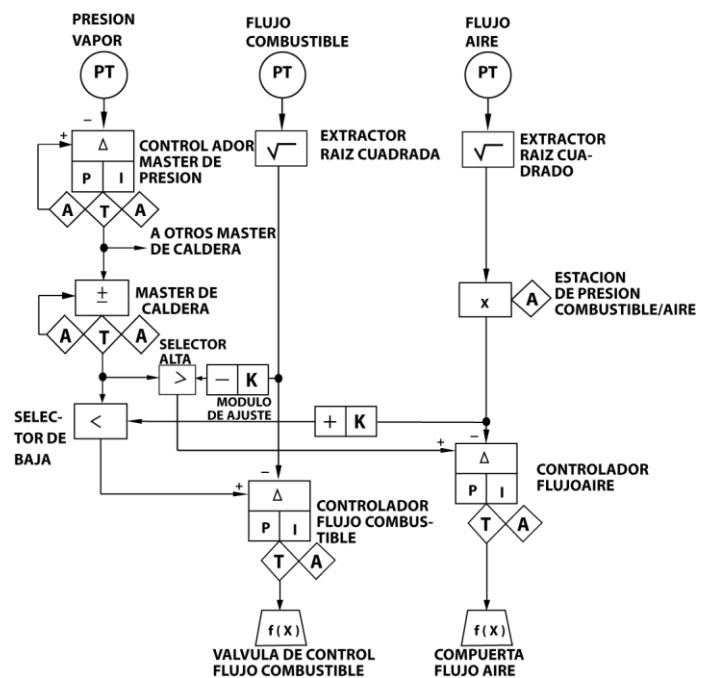


Fig. 7. Control de combustión dosificación paralelo de límites cruzados con módulo de ajustes y ganancia

El controlador Master de presión proporciona la señal de demande de rango de encendido en los selectores de señal de alta y baja. Si hay un cambio en esta demanda más grande que la diferencia de las señales de salida de los dos modos de ajuste y ganancia, el selector de alta provee una señal de set-point remoto al controlador de flujo de aire. El flujo de aire inmediatamente empieza a aumentar. Al mismo tiempo, el selector de baja bloquea la señal de demanda de ignición hacia el controlador de flujo de combustible. El selector de baja ajusta el aumento de la señal de flujo de aire a la del controlador de flujo de combustible para incrementar el flujo de combustible.

Con un cambio en la señal de demanda menor que las diferencias entre las señales de salida de los módulos de ajuste y ganancia, la señal de demanda de encendido que está alimentando en paralelo a los set-point remotos de los controladores de flujo de aire y combustible. Como todas las calderas usan un cierto porcentaje de exceso de aire, la cantidad de ajuste y ganancia está prefijada.

Así la mezcla de combustible y aire está siempre entre el ancho de banda del aire teórico y el exceso de aire.

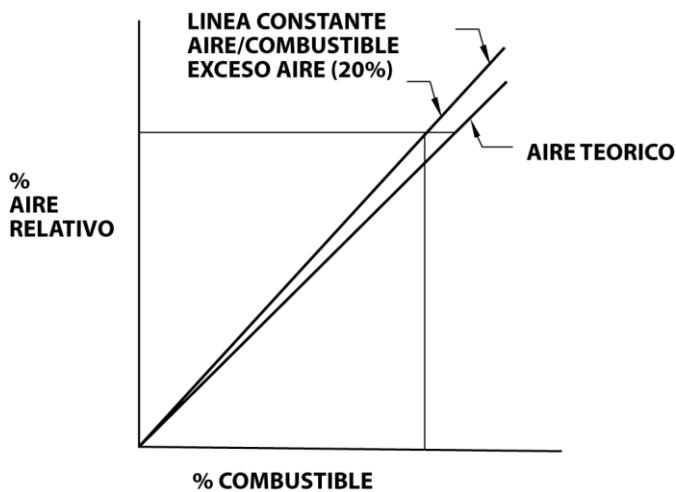


Fig. 8. Exceso de aire vs aire teórico

La línea constante de aire combustible de la Fig. 8, es también la línea de exceso de aire deseada. Desviaciones momentáneas en la razón combustible/aire no van a ser críticas mientras se mantengan dentro de la línea de aire teórico (exceso aire seco).

Usando el sistema de control de combustión de la figura 7, puede ocurrir que exista un pequeño incremento en la señal de demanda y el flujo de combustible puede aumentar sin que aumente el flujo de aire. Esto se, que la cantidad total de exceso de aire proporcione el margen necesario que evite una mezcla rica en combustible en el hogar.

Con una pequeña disminución en la señal de demanda, el flujo de aire puede cambiarse dentro de los límites seguros de exceso de aire, sin que sea necesario ajustar el flujo de petróleo.

## 5. Corrección automática de oxígeno

Hasta años reciente, solamente las grandes calderas podían justificar controles de combustión sofisticados. Actualmente el alto costo de los combustibles a echo necesario perfeccionar estos controles para lograr su máxima eficiencia. Además

regulaciones de tipo gubernamental han puesto un alto a la contaminación atmosférica colocando estándares apropiados.

El uso de la corrección automática de oxígeno en la razón combustible/aire, día control realimentando, proporciona una gran eficiencia, seguridad y es para asumir las siguientes funciones:

- ❖ Mantener una combustión eficiente con un mínimo de combustible en cualquier condición de operación.
- ❖ Minimizar la contaminación atmosférica especialmente durante cambios de demanda.
- ❖ Ayudar a una operación segura.
- ❖ Mantiene la salida de gases de la caldera o la temperatura del hogar a niveles deseados.
- ❖ Reduce la corrosión de equipos.
- ❖ Minimiza la oxidación de productos durante tratamientos térmicos.

### 5.1. Proceso de combustión

Los combustibles más comunes existen en moléculas de carbón e hidrógeno. La combustión es la oxidación del oxígeno con un combustible para liberar calor. La combustión perfecta es la combinación de las proporciones exactas de combustible y oxígeno (aire), para obtener la conversión completa de carbón e hidrógeno produciendo vapor de agua dióxido de carbono y calor.

Las proporciones ideales de combustible y aire varían directamente con los BTU, contenidos en el combustible. Adicionalmente también la razón combustible/aire depende de las especificaciones del hogar o caldera y de la carga.

Demasiado aire, da como resultado una pérdida de energía por la chimenea. La falta de aire produce una pérdida en la generación de energía debida a una combustión incompleta. Para evitar esto se requiere una cierta cantidad de exceso de aire para que asegure la combustión completa y que además compense los retardos en la razón de control Combustible/Aire durante los cambios de carga.

La composición del gas de combustible es una excelente indicación de la eficiencia de la combustión. El oxígeno (O<sub>2</sub>), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el Monóxido de carbono (CO) son los tres gases válidos para ser monitoreados.

El monitoreo del oxígeno es la forma más popular de hacerlo con muchas razones. Tiene una relación directa con el exceso de aire, es indiferente a otros gases en la chimenea y es independiente de la composición del combustible.

Por supuesto que es necesario observar ciertas precauciones en la ubicación del muestreo, cuyo lugar cuidadosamente seleccionado debe minimizar los efectos de estratificaciones o infiltraciones de aire los cuales falsearían las lecturas de O<sub>2</sub>.

## 5.2. Sistemas de control

La relación aire/combustible puede ser controlada automáticamente monitoreando la concentración de oxígeno en la chimenea. Esto no solamente minimiza la necesidad de exceso de aire por seguridad, sino que también compensa los cambios caloríficos de combustible u otros factores de operación.

La corrección por oxígeno puede implementarse usando la implementación mostrada en la figura 9.

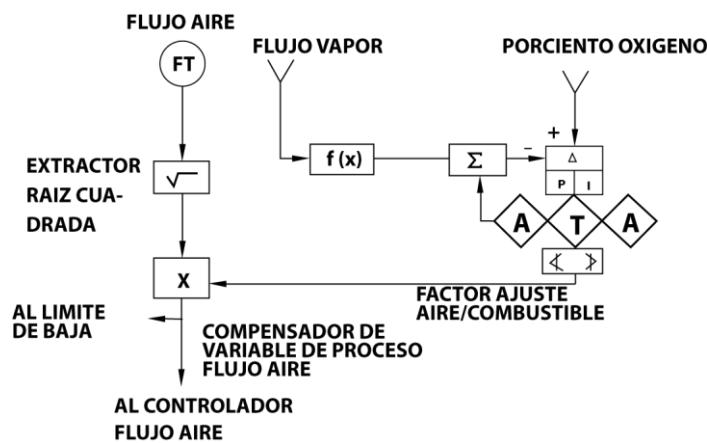


Fig. 9. Sistema de control de corrección automática de Oxígeno

En este caso se reemplaza la estación manual de razón de aire/combustible en el sistema de dosificación de paralelos de límites cruzados, este equipo actúa como un compensador ajustando la variable de procesos aplicada al controlador de flujo de aire y al selector de baja señal.

El set-point del controlador de Oxígeno es una derivación de la medición de flujo de vapor baso en la relación mostrada en la figura 10.

La salida del controlador de Oxígeno se aplica en un computador análogo (Sumador y multiplicador). Si la razón aire/combustible tiene un factor unitario, el compensador no tiene ningún efecto sobre la variable de procesos de flujo de aire. Si es necesaria una corrección esta se representaría por ese factor.

Generalmente los Excesos saltos de Oxígeno son Ordinariamente mantenidos en bajas cargas por que la velocidad de combustión decrece en las disminuciones de flujo de vapor, así, el combustible y el aire llega a ser menor en una mezcla completa. El alto exceso de oxígeno proporciona más aire a la mezcla que petróleo, mejorando las posibilidades de una reacción química,

El caracterizador en la figura 9. Complementa la pendiente y los valores límites (Como los mostrados en la figura 10), relativos a la carga de la caldera y al exceso de Oxígeno. Este sumador provee el ajuste de la estación de tal forma que el operador pueda cambiar la curva del set-point hacia arriba o hacia abajo.

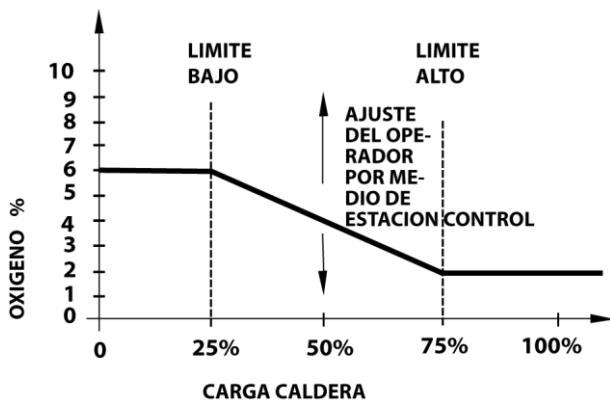


Fig. 10. Relación entre la carga de la caldera y el exceso de oxígeno deseado

El controlador de oxígeno compara la medición de las concentraciones de gas de oxígeno en la chimenea con el set-point de la curva programada de carga y aplica una acción PI para corregir el error. Este controlador tiene a menudo una autorrealimentación (realimentación positiva) y límites de salida de alta y baja ajustables. En acción directa; la razón aire/combustible ajusta el factor y efecto de reducción de combustible a un flujo constante. Aumentando la razón aire/combustible eleva el factor de ajuste que compensa la variable de proceso transmitida del controlador de flujo de aire. Este instrumento en acción reversa, cierra la compuerta de aire, disminuyendo el flujo de aire y por lo tanto decrece el porcentaje de Oxígeno e la chimenea.

## Referencias

1. P. Congdon, Fisher Controls Co. INTECH, an ISA publication, 1981.
2. D. Considine, Manual de Instrumentación Aplicada. Tomo II. CECSA, 1972.
3. Honeywell, Inc. Oxygen Trim of Fuel/Air Ratio. Application Note 93-00-07-29 Process Control Division, 1982.
4. Foxboro, Boiler Combustion Feedwater and cold'end temperature controls. System Instructions M79-603771 1979

# BASES DE HORMIGON Y ANCLAJE DE MÁQUINAS

Armando Solo Olivares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Procesos, USACH

**Resumen.** En algunas oportunidades en la industria mecánica, se requiere montar una máquina, cambiar de sitio alguna existente o tal vez tener que re anclar otra cuyos pernos de anclaje se han soltado por los movimientos, creando serios riesgos de daño al funcionamiento no solo de la máquina, sino que, a veces a todo el proceso de la industria. En este último caso y en la mayoría de las ocasiones, se requiere proceder en el menor tiempo posible para no entorpecer las líneas de fabricación. Las siguientes recomendaciones apuntan a dar algunos procedimientos para obtener bases resistentes y pernos anclados firmemente a la base.

## 1. Hormigón para bases de máquinas

Diremos desde ya que una reducción en el tiempo se logra recurriendo a cementos de alta resistencia, conocidos en términos de “cementos de fraguado rápido”. Estos cementos con una dosificación adecuada, reduce aproximadamente un tercio lo que se demoran los cementos de tipo corriente para obtener le mismo nivel de resistencia.

La resistencia que debe tener un hormigón de la base, especialmente cuando se trata de fundaciones para máquinas de gran peso o que inducen altas frecuencias de vibración, deben ser analizada y especificada por el Ingeniero Estructural.

Las siguientes son algunas dosificaciones que se deben utilizar en función de dicha resistencia, tipo de cemento y áridos pétreos, que se van a utilizar. Se debe considerar que los áridos pétreos serán limpios, duros y de una misma procedencia para todo el trabajo.

### a) Dosificaciones

Tabla 1. Con Áridos Rodados De Rio

Tipo de cemento Grado de resistencia Resistencia especificada	Sacos	ESPECIAL Corriente			ESPECIAL Alta y rápida		
		180	225	300	180	225	300
Cemento	Sacos	1	1	1	1	1	1
Ripio	1lts.	100	90	90	115	100	90
Arena	1lts.	60	50	50	70	60	50
Agua	1lts.	21	19	19	24	21	19
Vol. Horm.	1lts.	144	127	127	164	144	127

Tabla 2. Con áridos chancados de planta

Cemento	Sacos	1	1	1	1	1	1
Grava	1lts.	70	60	50	80	70	60
Gravilla	1lts.	30	30	25	35	30	30
Arena	1lts.	65	55	45	80	65	55
Agua	1lts.	21	18	16	23	21	18
Vol. Horm.	1lts.	142	123	105	157	142	123

**b) Consumo de Cemento.**

Si se cubica lavase a hormigonar y se conoce la dosificación requerida, se puede calcular el consumo de sacos de cemento aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{cemento} = \frac{V}{v} * 1000(\text{sacos})$$

V: cubicación de la base, en m<sup>3</sup>.

v: volumen hormigón según tabla 1 o 2.

**c) Colocación y tratamiento del hormigón.**

La preparación del hormigón exige el uso de betonera, una colocación cuidadosa y aplicación de vibrador de inmersión.

El empleo de vibradores exige algunas precauciones:

- ❖ Emplear vibrador de alta frecuencia (sobre 7.000 rpm).
- ❖ Vibrar capas que no tengan un espesor mayor que el largo de la botella vibrante.
- ❖ Introducir el vibrador a distancias de 40 a 50 cm entre sí en forma rápida.
- ❖ Penetrar hasta unos 10 cm en la capa anterior.
- ❖ Retirar el vibrador de forma lenta de cada punto.
- ❖ El tiempo de vibración sólo es de algunos segundos, generalmente cuando aparece una lechada superficial.

El logro de la resistencia exigida y obtener finalmente un hormigón consistente sin que aparezcan grietas y fisuras, demanda todavía una preocupación adicional.

Esta preocupación es que apenas el hormigón adquiere un cierto grado de endurecimiento, generalmente 3 a 5 horas después de finalizada la vibración y el alisado de las superficies expuestas, estas se cubren con arpillerías húmedas inicialmente y luego intensamente mojadas, durante 7 días si se trabaja con cemento especial o 5 días si es con cemento super.

Si se ha procedido con estos cuidados, el montaje de la máquina puede iniciarse al término del periodo de curado, alargando en dos días por cada día que no se aplicó curado o se tuvo a temperatura ambiente inferior a 5°C.

## 2. Anclaje de los pernos.

Para afianzar la máquina es necesario anclar pernos a la base para asegurar su estabilidad. Para aumentar la adherencia y fijación, es conveniente soldarle guías o

“patas” en el extremo inferior del perno y libre de óxidos sueltos, grasas, aceites, pinturas y cualquiera sustancia que impida la adherencia.

Para la operación de anclaje se puede proceder de dos maneras:

- ❖ Dejando los pernos anclados durante el hormigonado de la base.
- ❖ Dejando perforaciones durante el hormigonado para anclar posteriormente allí los pernos.

### **2.1. Anclaje Inmediato.**

El primer procedimiento es el que asegura más duración y mejor adherencia perno al hormigón, pero se corre el riesgo que se produzcan desalineamientos del perno durante las operaciones de colocación y vibración. Esto se soluciona aplicando dispositivos de fijación para mantener centrado al perno en la posición correcta.

### **2.2. Anclaje Posterior.**

El segundo procedimiento si bien permite centrar el perno en la posición correcta, se puede producir faltas posteriores de adherencia por contracciones y calidad de la mezcla de relleno.

Como este es el caso más corrientemente usado daremos algunas indicaciones para tener éxito.

Cuando se trata de una base nueva, durante el hormigonado se dejan tacos de madera o tubos de diámetro, al menos, el triple del diámetro del perno. Estos tacos se tornan ligeramente cuando el hormigón se ha adquirido cierto endurecimiento extrayéndolos algunos centímetros.

Cuando se trata de bases antiguas y se requiere reanclar pernos, la abertura se limpia picando de 0,5 a 1 cm y extrayendo todo el material suelto. Enseguida se rellena con arpillerías húmedas durante las 24 horas previas a la operación de anclaje.

## **3. Mezcla para anclaje**

Una vez centrado el perno se procede al llenado de la abertura con una mezcla expansiva de las siguientes composiciones:

Tabla 3. Mezcla expansiva para relleno

Cemento Super	1 Kg.
Arena Corriente	2 Kg.
Agua para tener una mezcla plástico-pastosa.	
Aditivo Expansor en proporción recomendada	
Por el fabricante	

Para no perder eficacia expansiva se debe preparar solo el material requerido para un perno cada vez. Esta cantidad es conveniente que sea el doble de la abertura.

La arena debe ser lo más gruesa posible. El aditivo se emplea expresado de 1 a 2% del peso del cemento. Esto significa que si se ha recomendado una mezcla de 1 Kg. de cemento se requieran 15 gr. de aditivo expansor.

Como los aditivos expansores son polvos finos y livianos conviene mezclar previamente el polvo con el cemento, luego la arena y el agua.

Se debe evitar el empleo de mezclas muy “aguadas”. La colocación debe asegurar un relleno total, apisonado con un taco de madera. Inmediatamente de rellenada la abertura, es necesario cargar la superficie libre de la mezcla con trozos de plancha pesada para confiar la expansión. Apenas la mezcla tenga cierta dureza se cubre con arpillería húmeda durante 5 días.

La puesta en marcha de la máquina depende de la resistencia que desarrolle la mezcla de anclaje. Este es el punto más delicado porque un apresuramiento puede hacer fallar la adherencia, provocar pérdida de fijación y tener un desajuste prematuro.

A veces se puede recurrir a aditivos aceleradores de fraguado y resistencia, pero caben dos observaciones: que éstos no impidan la acción del aditivo expansor y no contenga cloruros que pueden provocar a la larga una corrosión electroquímica del perno.

Las técnicas y operaciones descritas pueden asegurar un anclaje eficiente y un trabajo seguro de la máquina.

# **Conceptos Básicos Sobre Instrumentación para Medición y Control de Procesos**

Antonio Gutierrez<sup>1</sup>, Iván Pezoa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Área de Instrumentación y Automatización, Escuela Tecnológica, USACH, Chile.

## **1. Introducción**

En todo proceso, entendido éste como la función y operaciones utilizadas en tratamiento de material, la ingeniería de procesos persigue los siguientes objetivos:

- ❖ Mejorar la calidad del producto que se está produciendo.
- ❖ Disminuir el costo de producción, lo que se consigue operando en regímenes óptimos, que hagan posible un mínimo consumo de materias primas y energía y minimicen, al mismo tiempo, los desgastes de equipos e instalaciones
- ❖ Introducir seguridad a las operaciones, tanto en lo relativo a máquinas como personas.
- ❖ Por ello, la necesidad indispensable de incorporar al proceso dispositivos (léase instrumentos) que nos permitan controlar las diversas variables de éste en forma tan exacta como se requiera, a objeto de satisfacer las especificaciones del producto.
- ❖ En un proceso debemos distinguir a nivel de variables las siguientes:
  - Las variables de salida,, que son aquellas que se desea mantener bajo control del medio (sean éstas energía o material de proceso)
  - Las variables de entrada, por medio de las cuales se puede actuar para afectar el valor de las variables de salida.

Existen además, otras variables y parámetros que tienen incidencia sobre las variaciones de salida, pero que no se pueden manipular debido a que se carece de acceso a ellas o es muy oneroso influir sobre éstas o cuyo valor depende de otros procesos. Dichas variables, que son generalmente de carácter aleatorio, se denominan perturbaciones.

A objeto de acercarse a los objetivos mencionados, habrá que cumplir físicamente con las siguientes condiciones:

La o las variables de salida – desde ahora variables (V.C)- deberías estar en lo posible dentro de un rango prefijado y preferentemente en un valor especificado como referencia, y en muchos casos independiente del valor que tomen las perturbaciones. Ejemplo, la temperatura de un horno se deberá mantener entre 90 y 110°C, y preferentemente en 100°C con independencia de si su puerta está abierta o cerrada.

En ocasiones no se desea controlar en forma específica un conjunto de variables físicas, sino más bien que una relación matemática entre ellos sea mínima, Ejemplo, Índice de costos.

Por razones de seguridad, deberá contarse con un sistema de alarmas que indiquen cuándo algunas variables salen fuera de rangos permisibles.

Todo esquema, destinado al control de las variables de salida y que están ligados estrechamente al producto manufacturado, tiene su punto de partida en los elementos de medición de magnitudes físicas que se exigen como representativas desde el punto de vista del valor que poseen como información a transmitir desde el punto de vista el valor que poseen como información a transmitir desde un punto a otro en el esquema de control, y como elemento final un dispositivo que nos permitirá manipular sobre la o las variables de entrada. Esta presentación se ilustra más claramente a través de un simple equipo de transferencia de calor.

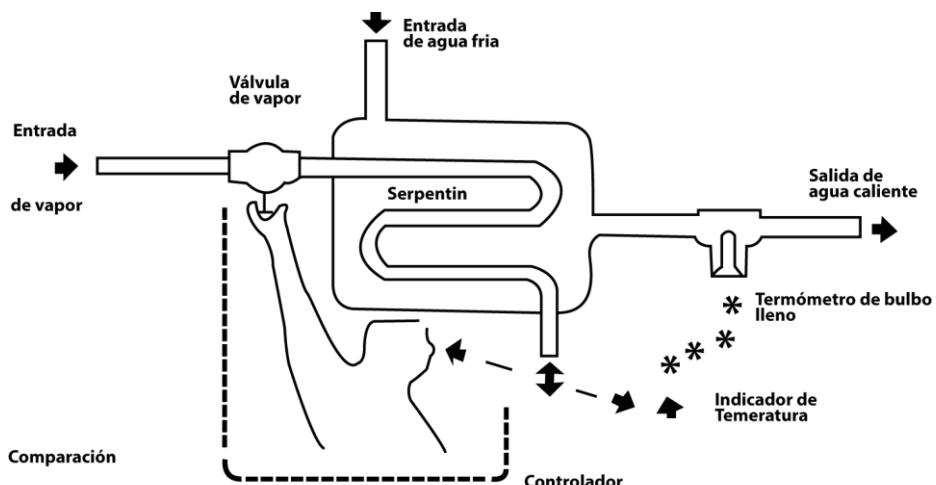


Fig. 1. Sistema de control

En lo ilustrado, el control sobre la variable de salida lo ejerce un operador humano. Este operador está observando la temperatura del agua de salida en un instrumento indicador y gira la válvula de vapor cada vez que se produce una alternación en el valor deseado de la salida. Esta acción del operador se produce a provocar la diferencia entre lo indicado por el instrumento y el valor referencia que le ha sido prefijado –nota un error.

Esta operación la ejecutará cuantas veces observe, compare y note un error, hasta que finalmente la temperatura se ajuste al valor deseado.

El loop de control establecido, aunque si bien es cierto es manual, precisa claramente las etapas que intervienen básicamente las etapas que intervienen básicamente en la instrumentación de un proceso. Un diagrama en bloques de éste debería ser.

En el control manual del proceso el operador mide, si bien no es él quien sensa directamente la temperatura de salida del agua, compara ésta con el valor deseado, procesa la información anterior y determina cuánto abre la válvula de vapor, y ejecuta esta corrección en la entrada de vapor al equipo. Entonces, las funciones básicas desarrolladas por el operador en control manual son:

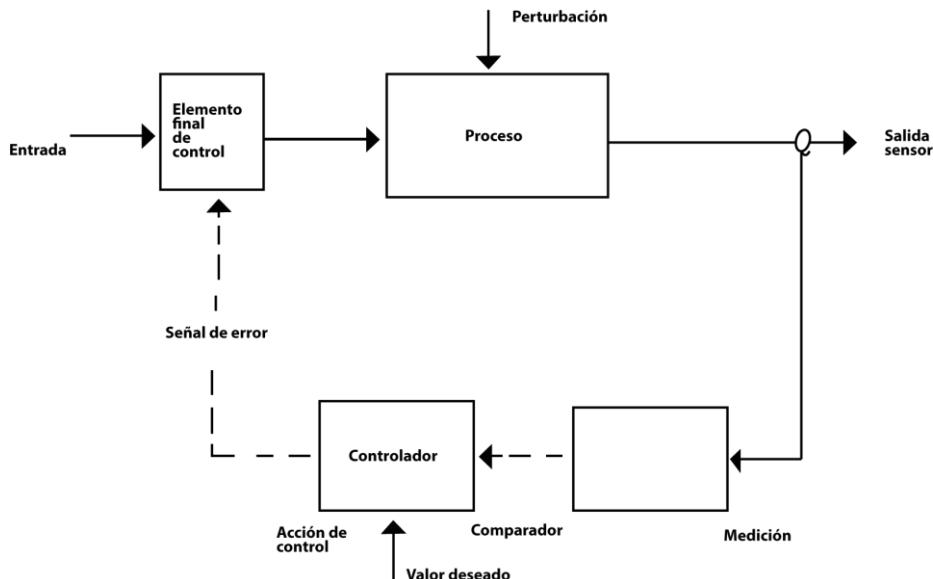


Fig. 2. Esquematización de un sistema de control

- a) Medición.
- b) Comparación.
- c) Procesa Información.
- d) Corrección.

Estas mismas pueden ser provistas por algún sistema automático que evite la posibilidad de excesos que se originan frecuentemente debido a la acción del operador humano, siendo preciso en estos casos entrar a un período de corrección del exceso, en que, en procesos de baja capacidad, es solo una solución parcial.

Un esquema automático de control, comparativamente, cumplirá las mismas funciones básicas (y en el mismo orden) que lo hace un operador humano.

Los planes de medida organizan la función de medición; ellos sensan y evalúan una variable de salida del proceso.

La función de comparación entre el calor medido y señal de referencia es ejecutada por el detector de error, el cual genera una señal cuando hay una desviación entre lo medido y lo deseado.

La función de corrección de una entrada al proceso es realizada por el elemento final de control, que actúa ante la señal actuante o de error.

Así, un esquema automático de control es un aparato sensor de error y autocorrección. Este loop cerrado es comúnmente llamado circuito de realimentación.

Los distintos componentes de un sistema de control de procesos pueden ser de naturaleza mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica o una combinación de dos o más de ellas.

En algunos casos al elemento sensor –que transforma la manifestación física de la variable controlada en otra conforme a naturaleza del sistema control-. Se le incorpora un dispositivo que recibe, la señal no estandarizada del sensor, convirtiéndola en una apta de ser interpretada por los controladores o ser transmitida a distancias, a este dispositivo se le denomina transmisor. Al conjunto sensor-transmisor se le denomina elemento primario.

El reemplazo que se lleva a cabo entre el control manual y otro automático es que la función de comparación y computación del error lo realiza un “controlador”. Este en base al error, a la tendencia de éste a su historia interior y otras consideraciones que se le han programado – al aparato controlador- recomienda una posición del elemento final de control a objeto de obtener el valor deseado de la variable de salida. Esta posición recomendada se transmite por medio de una señal estándar al actuador.

En este último, probablemente, la decisión del especialista es decisiva, ya que la selección del modo de control es un compromiso entre la salida del control obtenido y el costo del sistema de control. El sistema de control deberá satisfacer la tolerancia de los procesos, pero no satisfará requerimientos mayores a los solicitados o su costo será excesivo.

Lo anteriormente escrito puede ser clarificado considerando como funciones básicas de control, las ejecutadas por un moderno sistema de control automático, como lo muestra esquemáticamente un sistema operado por aire aplicado al equipo de transferencia de calor. (ver figura 3)

## 2. Descripción del sistema automático de control implementado

### 2.1. Sistema de medición

El sistema de medición de este esquema típico consta de 3 partes:

- ❖ Termómetro de bulbo (elemento sensitivo). Este elemento está convirtiendo la temperatura del agua de salida (energía calórica) en una señal cuantificable en términos de presión (energía mecánica).
- ❖ Tubo capilar. Esta parte del sistema lleva la señal desde el elemento sensitivo al elemento recepto.
- ❖ Tubo de Burdon. Este evalúa la señal del elemento primario y convierte la señal recibida en movimiento mecánico de acción para el detector de error.

## 2.2. Elemento Detector de Error

Está compuesto básicamente por un sistema neumático placa tobera de simple acción (abierto-cerrado). Un suministro regulado de aire para a través de un tubo reductor de tipo capilar y después a una tobera de mayor diámetro. (Si la tobera no presenta dicha restricción, la presión en el tubo será baja, ya que el volumen restringido de aire que fluye a través del tubo reductor puede pasar libremente por la tobera). Si la señal actuante sitúa la lengüeta cerca de la tobera, la consiguiente obstrucción del aire hará que la presión aumente en la sección correspondiente entre la restricción y la tobera.

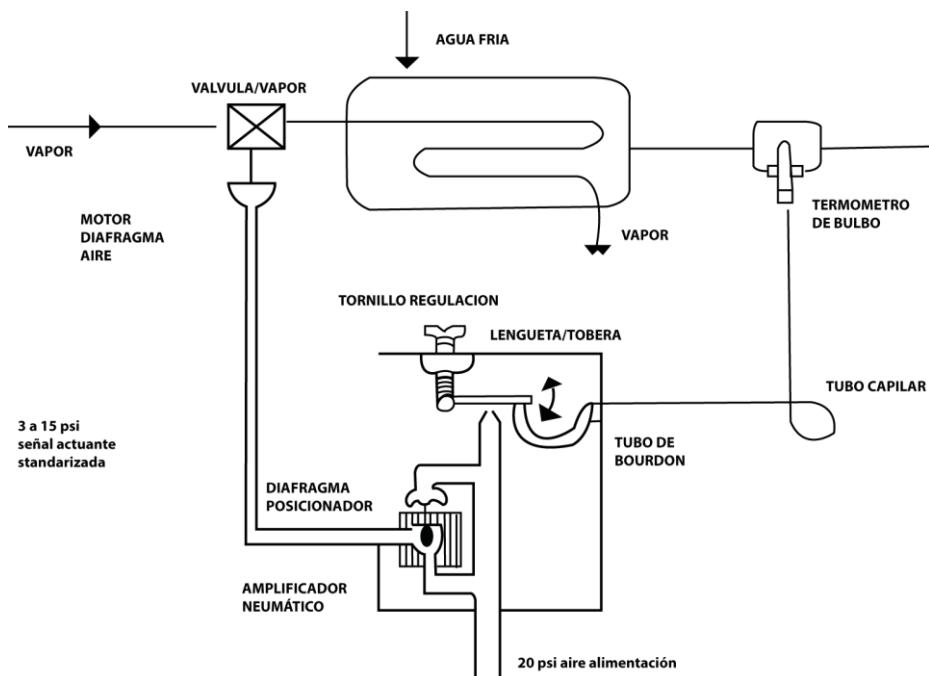


Fig. 3. Funciones básicas del control

## 2.3. Amplificador

La figura 3 mientras que la señal de error, de bajo nivel, es amplificada linealmente por un relé amplificador. Si se dependiese del pequeño volumen que pasa de la restricción para accionar el elemento fina, esta operación sería demasiado lenta para un fin práctico.

Un suministro de aire regulado entra por el costado izquierdo del relé. La válvula piloto en la cámara izquierda consiste en un “plug” de acero inoxidable situado por un

diafragma. La señal de error desde el detector es aplicada al diafragma; esto causa que el “plug” de la válvula piloto se mueva hacia arriba o hacia abajo sobre la entrada de aire regulado, por lo cual se genera una señal de error normalizada como salida del controlador, siendo ésta de suave proporcionalidad al error o desviación representada por el sistema lengüeta bourdon.

#### **2.4. Motor operador**

La señal de error debe ser convertida en correcciones de la variable manipulada. En muchos sistemas de control, este requerimiento toma la forma de motor para al elemento final de control. En el caso de la figura, el posicionamiento de la válvula se logra a través de un motor de diafragma accionado por la presión del aire de salida del amplificador.

#### **2.5. Elemento Final de Control**

Este elemento corrige en último término el valor de la variable manipulada. En el sistema de control visto, la válvula de vapor es el elemento final de control, la que está en contacto directo con el agente vapor obteniéndose así las correcciones sobre dicho agente.

### **3. Eficiencia del control**

La eficiencia que se obtiene en el control de un proceso, está directamente relacionada a 2 efectos, los cuales deben ser considerados en toda aplicación.

El primero de éstos, son los cambios de carga, que se originan en la variable de salida y se deben a la alteración de las condiciones del proceso.

El otro, el retraso en el proceso, que corresponde al tiempo que la variable controlada toma para alcanzar un nuevo valor cuando ocurre un cambio de carga.

#### **3.1. Origen de los cambios de carga**

Los cambios de cargas pueden producirse a partir de las siguientes fuentes principales:

- ❖ Cambios en demanda del medio: En el ejemplo del intercambiador de calor el aumento en el flujo de agua o el cambio en la temperatura o material del proceso del cual la variable manipulada es una condición o característica. En ambos casos

se requiere vapor en mayor o menor cantidad para mantener el fluido a la temperatura deseada.

- ❖ Cambios en la calidad del agente de control: si se usa vapor como agente de control y su presión disminuye, su temperatura será menor, en este caso deberá agregarse más vapor para mantener una temperatura constante en el intercambio. Todas las correcciones por este error deberán ser hechas por el controlador.
- ❖ Cambios en las condiciones ambientales: las fluctuaciones de temperatura en torno al intercambiador de calor harán que se requiera más vapor en el invierno a pesar de que todas las demás variables se mantengan constantes. Por esta razón, algunos procesos poseen arreglos combinados de invierno-verano para absorber los cambios de temperatura ambiente.
- ❖ Cambios internos del proceso: en estos casos es usado un agente de control diferente en diversas etapas durante el proceso con el objeto de mantener el control de la variable de salida.
- ❖ Cambios en el punto de control: este corresponde a un ajuste externo al proceso que implica necesidades de energía adicional a objeto de reunir las nuevas condiciones.

### 3.2. Retraso del proceso

El retraso del proceso es causado por una o más de las tres características principales del mismo: Capacitancia, Resistencia, y el Tiempo muerto.

**Capacitancia:** Esta característica está ligada a la capacidad pero no son idénticas. La capacidad es una medida de la cantidad máxima de energía o material que puede ser almacenado dentro de los confines de una cierta pieza del equipo o proceso. Es medida en unidad de capacidad. La capacidad en volumen de un estanque abierto, por ejemplo, es el volumen máximo del líquido que pude almacenar son que éste se derrame.

Las unidades dimensionales para capacidad están dadas por:

Tabla 1. Unidades de capacidad

Tipo de Proceso	Unidades Usuales
Térmico	Btu. [K calorías]
Presión	pies cúbicos [Kgs.]
Nivel de Líquido	16(libras) [m <sup>3</sup> ]

Ahora la capacitancia es la modificación en la cantidad contenida por unidad de cambio en la variable de referencia. Esta es medida en unidades de cantidad divididas entre la variable de referencia.

Tabla 2. Unidades de capacitancia

Tipo de Proceso	Unidades Usuales
Térmico	Btu/ $^{\circ}$ grados [K calorías/grados]
Presión	pies $^3$ /pie [Kgs./Ka/m $^2$ ]
Nivel de Líquido	16/pie [m $^3$ /m]

Ejemplo:

Los dos recipientes de la figura 4, tienen diferente capacitancia a pesar de que sus capacidades son idénticas. El recipiente A tiene una capacitancia de 10 dividida por 10, ó sea 10 pies $^3$ /pie. El recipiente B tiene una capacidad de 100 dividida por 5 o sea 20 pies $^3$ /pie.

En control de nivel de un líquido, la gran capacidad del recipiente B impedirá grandes cambios de nivel debido a la carga. Sin embargo, introducirá un retraso en la corrección, debido a cualquier cambio de carga que fuese lo suficientemente grande para afectar a la variable controlada. En cambio, en el recipiente A con pequeña capacitancia, responderá rápidamente y será muy sensible a los cambios de carga. En este caso, un pequeño cambio de carga provocará un cambio en la variable controlada.

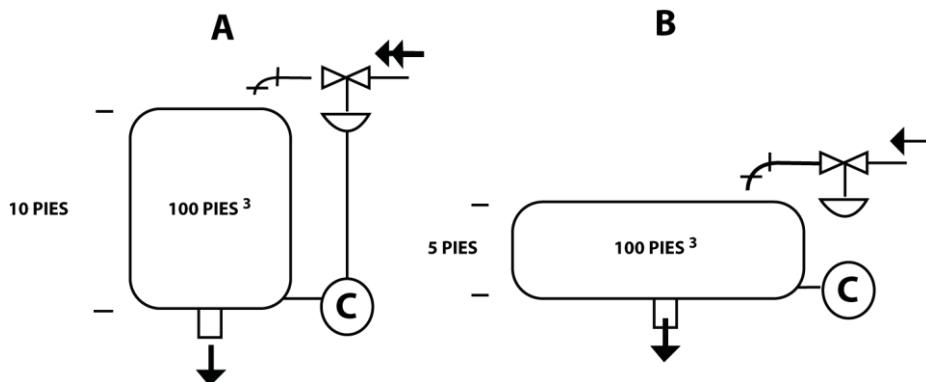


Fig. 4. Partes de una caldera

**Resistencia:** Esta característica del proceso es la oposición al flujo. Es medida en las unidades del cambio potencial requerido para producir un cambio unitario en el flujo. Esta forma de retraso es particularmente importante en control de temperatura, debido a las características de las transferencias de calor desde el proceso hasta el bulbo sensor de temperatura. Por ejemplo, la carga de material estanco sobre los tubos del intercambiador de calor, con frecuencia crea una resistencia más seria al flujo del calor que las paredes mismas del tubo.

Por ello los termómetros sumergidos en la corriente de un fluido deben tener una velocidad adecuada de un fluido deben tener una velocidad adecuada a través de ellos

para eliminar el efecto de capa, que de otra manera crearía un serio retraso en la transmisión de la temperatura.

Unidades dimensionales de resistencia.

Tabla 3. Unidades de resistencia

Tipo de Proceso	Unidades
Térmico	Grad/(Btu/seg)°C [K calorías/seg]
Presión	Psi/(pies <sup>3</sup> /seg) [(Kg/m <sup>2</sup> )/(m <sup>3</sup> /seg)]

Frecuentemente los efectos de resistencia son minimizados usando un modo de control que se anticipa (estimativamente) a la temperatura que hay en el proceso, compensando el retraso de transferencia.

**Tiempo Muerto:** Esta característica es cualquier retraso definido entre dos acciones relacionadas en el proceso. Algunas veces es llamado retraso de transporte y es medido en unidades de tiempo.

Un ejemplo de tiempo muerto, es un calentador de carga de los usados en la industria química. El petróleo toma tiempo en pasar a través de toda longitud de los tubos en el siguiente proceso. Se usa un control de temperatura en la salida, para asegurar que el fluido lleve la temperatura correcta.

Si la velocidad del petróleo es de 100pies/min, en un calentador con 200 pies de largo, el tiempo requerido para detectar un cambio de temperatura a la entrada será de 2 minutos.

El retraso así originado (tiempo muerto) no causa cambio en las características de reacción del proceso, sino más bien en el tiempo. No se perciben cambios hasta que el tiempo muerto ha pasado. Este retraso es serio en muchos procesos y ha conducido a introducir sistemas de control de mayor envergadura, a objeto de evitar condiciones inestables en el control (figura 5).

#### 4. Acciones de control

En control manual (figura 1) cuando el operador detecta que la temperatura está desviada por sobre el valor deseado, el puede actuar en la posición de la válvula-vapor de varias maneras:

- ❖ Cerrado instantáneamente la válvula.
- ❖ Cerrando la válvula lentamente a velocidad constante.
- ❖ Cerrando la válvula a cantidad constante por cada unidad de desviación.

El operador también puede usar otros métodos o combinaciones de los métodos de manipulación de la válvula.

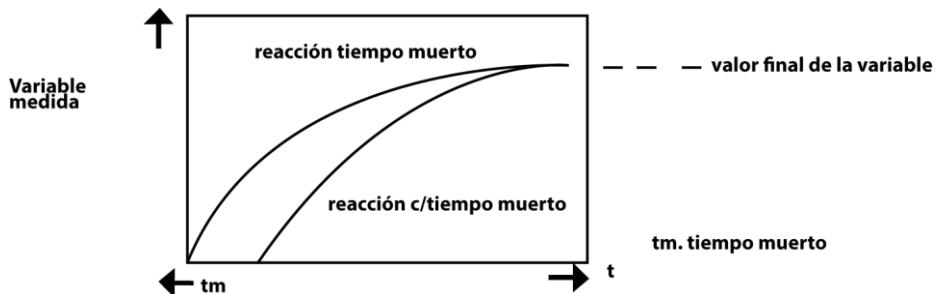


Fig. 5. Gráfico de tiempo muerto

La acción de control, o modo de control, es la manera en que un sistema de control realiza las correcciones relativas a la desviación. Cuando es aplicado al instrumento mismo, el término acción de control describe la forma en que el controlador particular cambia su salida en relación a la entrada o desviación. Subrayemos que la acción de la entrada de un proceso resulta de la aplicación combinada de las características de todos los elementos funcionales que comprenda un sistema de control.

La moderna instrumentación de control industrial está usualmente hecha de modo de producir, o una combinación, de las siguientes acciones de control.

- ❖ Dos posiciones (On – Off).
- ❖ Flotante.
- ❖ Proporcional.
- ❖ Integral.
- ❖ Derivativo.

#### 4.1. Control de dos posiciones.

Básicamente, en el control de dos posiciones el elemento final de control es llevado con relativa rapidez de una a otra de las dos posiciones extremas para un valor único de la variable controlada. Es decir, no existe una posición intermedia de control entre los dos extremos de abierto y cerrado; este modo es también denominado On-Off.

Un ejemplo de un sistema de control de los posiciones eléctrico es mostrado en la Fig. 6. Cuando la temperatura está sobre el valor de set-point (referencia), el contacto eléctrico de la válvula cerrando ésta; cuando la temperatura está bajo el punto “set” el contacto es abierto y la válvula abre.

Se ha visto que este control puede no realizar una corrección exacta. El control de dos posiciones es simple y ampliamente utilizado en procesos con velocidades de reacción lentas para los que puede proporcionar una regulación adecuada. El control

de dos posiciones es más apropiado para un proceso con la mínima velocidad de transferencia en las que las dos posiciones extremas se pueden ajustar para permitir una entrada a penas mayor o menor que los requisitos de operación normal. Los cambios de carga hacen que la variable controlada siga un ciclo a una velocidad y magnitud, según la velocidad y la desviación del cambio de carga. Cuando dicho cambio es demasiado grande o se produce con una excesiva velocidad, el control es inestable. El sistema puede abastecer una cantidad excesiva o deficiente del agente de control y entraña en una variación rápida que se denomina comúnmente oscilación o inestabilidad. Tal oscilación es típica de la regulación de dos posiciones, y sin embargo, es satisfactoria en muchos casos (Este modo se aplica generalmente a procesos discontinuos de gran capacidad).

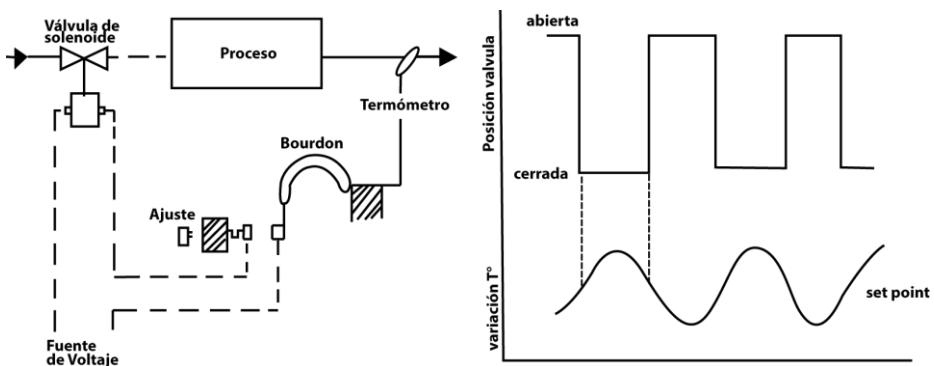


Fig. 6. Sistema de control de 2 posiciones ON-OFF

Una variación común del anterior es un sistema de dos posiciones con gap diferencial. En éstos, elemento final de control es movido relativamente rápido desde una primera posición a una segunda cuando la variable controlada alcanza el valor “set” desde una dirección y puede retornar a su primera posición solamente después que la variable ha pasado en la dirección opuesta, rango de valores (llamado gap diferencial), a un segundo valor.

La figura 7, muestra un típico sistema de dos posiciones con gap diferencial.

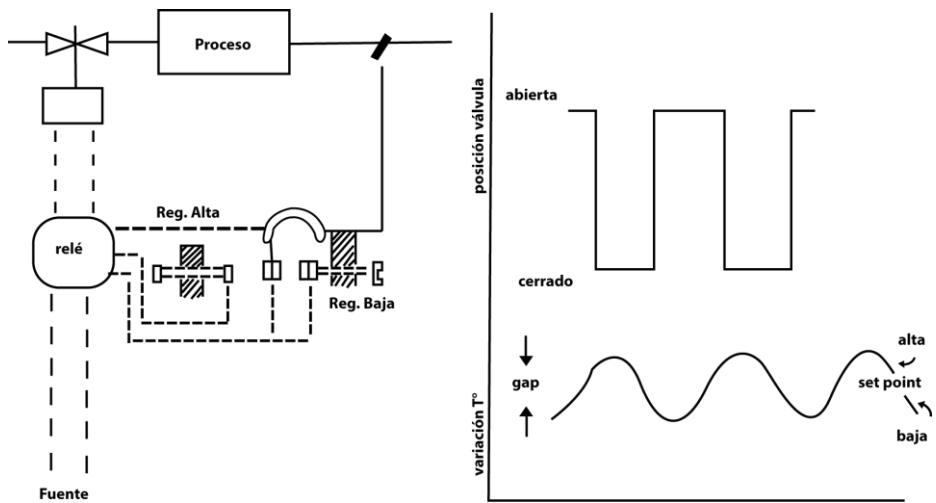


Fig. 7. Sistema de control con Gap diferencial

Note que no ocurre acción de la válvula mientras la variable está dentro de este gap diferencial, por lo que la válvula actúa con menos frecuencia.

#### 4.2. Control Flotante.

Cuando los cambios de carga son grandes y rápidos, es necesario proporcionar una mejor clase de control que el control On-Off

El control flotante mueve el elemento final de control a una velocidad constante en cualquier dirección, siempre que la variable controlada cambie en un valor predeterminado en la relación al punto de ajuste. A diferencia del control On-Off, el modo flotante cambia la velocidad de abierto a cerrado.

En un control flotante, el elemento final de control no se mueve mientras la variable controlada permanezca dentro de la zona neutra. Cuando dicha variable se destaca fuera de dicha zona el elemento final de control entra en acción en la dirección apropiada para corregir la variable controlada. Este movimiento continúa hasta que dicha variable regrese a la zona neutra o hasta que se active toda la apertura del elemento final de control, o bien, hasta que se cierre, según la corrección que se necesita.

En el control flotante, el elemento final de control se mueve con mayor lentitud que en el control On-Off, debido que conviene tener una ubicación intermedia para la aplicación. El control flotante tiene la ventaja de contrarrestar cambios graduales de cargas mediante una variación también gradual del elemento final de control. Esto minimiza la formación de oscilaciones, pero no la elimina por completo.

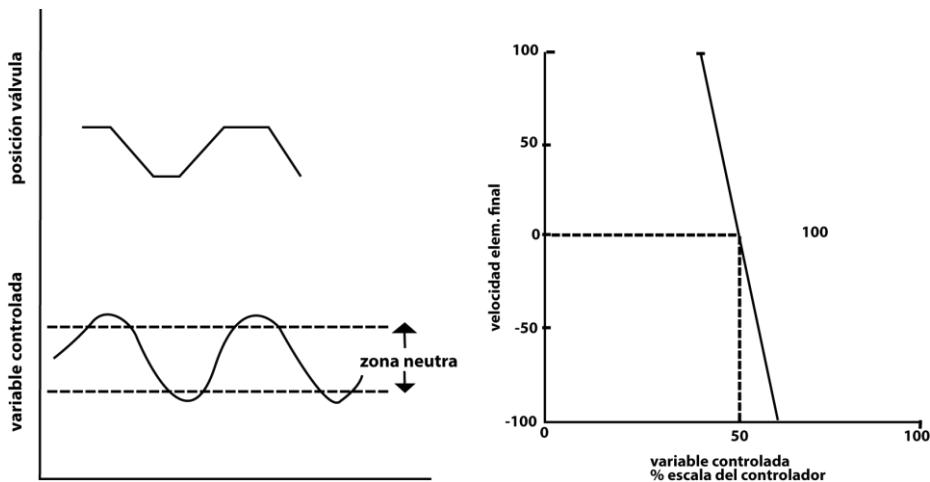


Fig. 8. Sistema de control flotante

#### 4.3. Control Proporcional.

En este modo hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la salida del controlador (siempre y cuando la variable esté dentro de la banda proporcional), correspondiendo éste al cambio en la variable de medida que causará el cambio total en la salida del controlador. Se expresa en unidades de la variable controlada.

La fig. 9 nos muestra la relación entre la posición de la válvula y la variable controlada característica de la acción proporcional. Nótese que la posición de la válvula cambia en exacta proporción a la desviación. Podemos apreciar que la acción proporcional responde solamente a una cantidad de desviación y es insensible a la razón o duración de la desviación.

En la fig. 9 que nos muestra un simple control de nivel líquido mediante una acción de control proporcional, la carrera de la válvula se divide proporcionalmente en función de la escala (amplitud de ésta). Cuando el depósito está completamente lleno y el flotador en su posición más baja la válvula está completamente abierta. Esto representa una banda proporcional de 100%; el 100% de carrera de la válvula está distribuido uniformemente respecto al 100% de la amplitud de la medición. Una banda estrecha significa un control sensitivo. Si fuéramos capaces de ajustar el regulador al 0% banda proporcional, tendríamos un control de dos posiciones. Sin embargo, esto no es posible, pues implicaría que la ganancia es infinita, y por cierto el mecanismo no es capaz de obtenerla. El control proporcional equilibra la entrada de un proceso con respecto a la salida, pero tiene una limitación importante.

Al producirse un incremento de la carga (salida del proceso) el flotador bajará y aumentará la abertura de la válvula de entrada. Eventualmente el flotador encontrará una nueva posición y una abertura correspondiente de la válvula de entrada de suerte que el proceso quede en equilibrio. Una vez logrado el equilibrio, el flotador estará en una nueva posición desviada del punto inicial. Esta desviación estable o “droop” es característica en todos los sistemas de control proporcional porque el mecanismo no puede competir con los cambios de carga del proceso. El punto de referencia y el punto de equilibrio coinciden solamente para un conjunto específico de condiciones (Ej: cuando un 50% de carrera de la válvula suministra un flujo de energía entrante igual al flujo de energía saliente).

Al ocurrir una desviación estable el reguladora necesita ser reajustado para efectuar el control de este “nuevo sistema” (esto es, el mismo, pero con carga diferente) al punto de control apropiado (función que ocupa el manual reset). Esta conexión puede efectuarse mediante la acción de control integral.

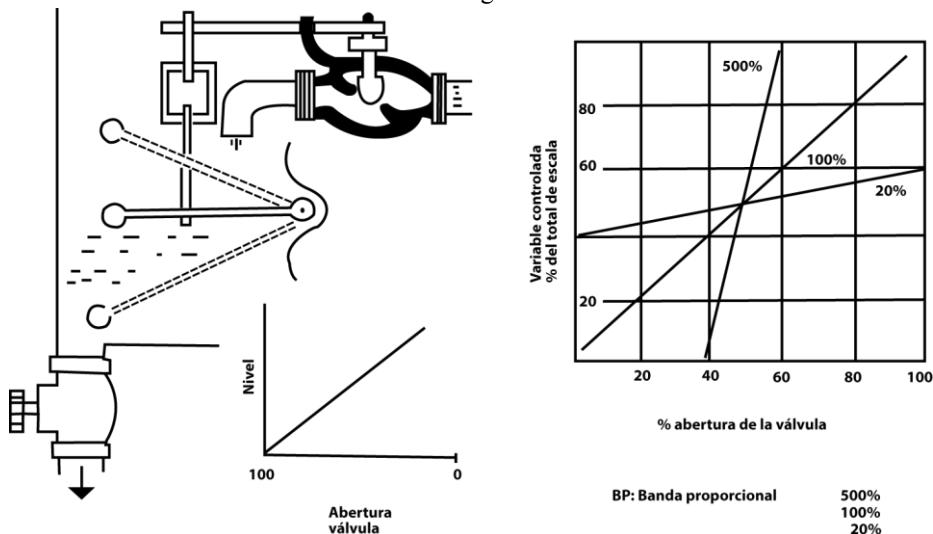


Fig. 9 Sistema de control proporcional

#### 4.4. Control Integral.

El ajuste a mano (manual reset) posicionará la válvula de entrada con respecto a la medición (el flotador). Esto se hizo para reducir a cero la desviación estable.

Es un sistema de control automático esta función de reajuste (o integral) se efectúa mediante la integración del error en el sistema.

La acción de control integral se define como “un tipo de acción de control en el cual la conexión potencial cambia a una velocidad proporcional a la desviación”. Esto

quiere decir que si la variable está fuera del punto de control (desviación), entonces el regulador ejerce una función correctiva cuya velocidad de cambio es proporcional a la desviación. Así el modo de control integral elimina la desviación estable debida a un cambio en la carga en un sistema de control proporcional.

La velocidad de cambio en la acción correctiva de control se expresa en términos de la acción proporcional básica. Es decir, para una desviación dada, el regulador proporcional efectúa una acción correctiva igual a  $X$ . La acción integral se expresa en términos del tiempo que necesita el regulador integral para efectuar una acción correctiva igual a  $X$ , o sea, en repetir la acción proporcional.

Las unidades de modo integral vienen así expresadas en minutos (tiempo transcurrido en repetir la acción proporcional), o su recíproca, (repeticiones por minuto). La primera lo hace en unidades de tiempo, mientras la segunda en unidades de velocidad.

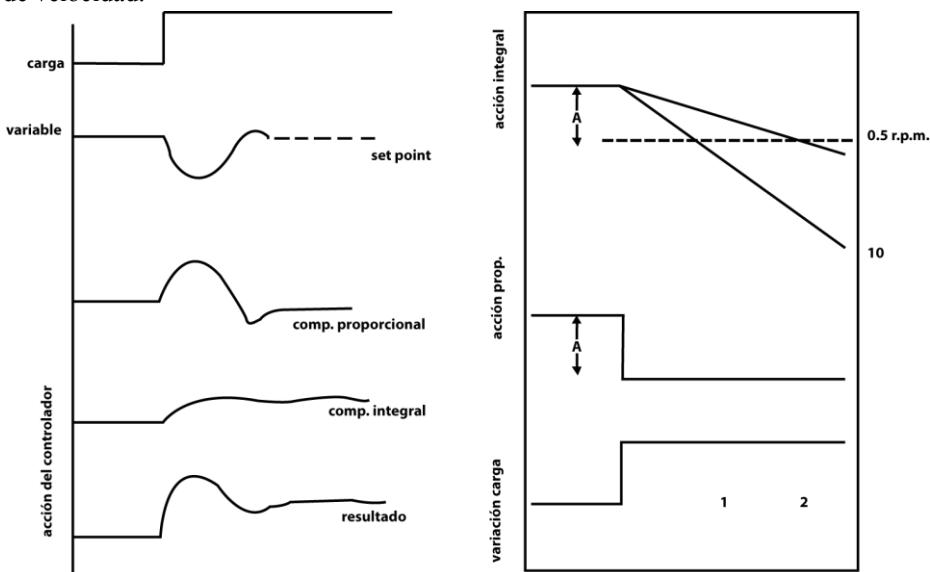


Fig. 10. Sistema de control integral

#### 4.5. Control Derivativo.

Hay muchos procesos que contienen capacidades y resistencias múltiples, y como resultado puede existir un retraso entre el instante en que ocurre un cambio de la variable y el instante en que el cambio en la medición se aplica al mecanismo de control. El propio dispositivo de medición tiene capacidad y resistencia contribuyendo al retraso. Los procesos térmicos son un claro ejemplo de esto.

Una rápida desviación indica, que está ocurriendo alguna fuerte perturbación en el proceso, y el regulador puede ejercer una fuerte acción correctiva, aún cuando dicha desviación sea pequeña. En efecto, el regulador se adelantara a la desviación y así la acción es “anticipativa”.

Como se aprecia en la figura 11, para un modo proporcional más derivativo, se desea que una rápida desviación, origine una fuerte señal de salida del regulador, pero no es eliminada la indeseable característica de desviación estable de la acción proporcional.

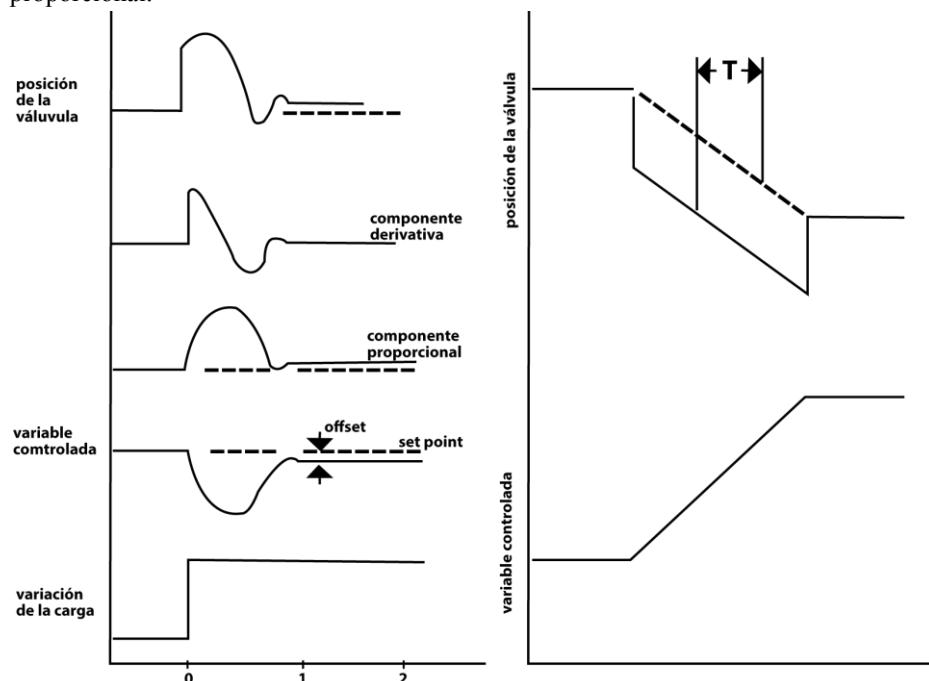


Fig. 11. Sistema de control derivativo

## 5. Selección de la acción de control

Probablemente la más importante decisión en instrumentación para el control de procesos sea la selección del modo de control.

La solución es usualmente un compromiso entre la calidad del control a obtener y el costo del sistema de control.

En un resumen, observe que cada modalidad de control puede aplicarse a procesos que tienen ciertas combinaciones de características básicas. Al elegir una modalidad

de control, la mejor selección es el modo más simple que logre el control necesario para producir un producto económicamente competitivo.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de las características principales de proceso que se requieren de las distintas modalidades de control.

Tabla 4. Modos de control y sus aplicaciones

Modo	Velocidad de la reacción del proceso	Cambios de carga Tamaño      Velocidad	Aplicaciones
Dos posiciones	Lenta	Cualquiera      Cualquiera	Instalaciones de gran capacidad de temperatura y nivel.
	Rápida	Cualquiera      Pequeña	Procesos con pequeños tiempos muertos. Hornos Industriales, aire acondicionado.
Proporcional	Lenta o Moderada	Pequeño      Moderada	Procesos de presión, temperatura y nivel donde la desviación estable es permitida.
Proporcional más integral	Cualquiera	Grande      Lenta o moderada	La mayoría de las aplicaciones, incluso flujo No recomendables para operaciones en tandem donde la respuesta es relativamente lenta para la variable control.

Tabla 5. Tipo de proceso y acción de control

PROCESO	BANDA PROPORCIONAL	INTEGRAL	DERIVATIVA
Flujo y presión de líquido	(500 – 2%)	Requerido	No requerido

Presión de gas	(5 – 0%)	No requerido	No requerido
Nivel del líquido	(50 – 5%)	Ocasionalmente requerido	No requerido
Temperatura	(100 – 1%)	Requerido	Requerido

## 6. Estabilidad de control

La estabilidad de control es demostrada por la habilidad de la variable medida para regresar al punto de ajuste fijo después de la perturbación. Esta habilidad del control se define como las propiedades de los efectos combinados del sistema de control u del proceso. Uno sobre el otro, en donde la variable controlada es mantenida dentro del límite sin permitir oscilaciones cíclicas. Dependiendo de las características del sistema, pueden ser obtenidos cinco diferentes tipos de respuestas; éstas son:

- ❖ Estable sobreabatida.
- ❖ Estable y críticamente abatida.
- ❖ Estable subabatida.
- ❖ Oscilante y condicionalmente estable.
- ❖ Inestable con oscilaciones crecientes.

Siempre que se forma un loop de control habrá riesgo de que se presente un sistema oscilatorio o inestable. Un ajuste de banda proporcional muy angosta conlleva una corrección cuyos efectos son mayores que la perturbación original. El efecto de esta corrección es amplificado por correcciones subsecuentes, de modo que las variaciones de la salida del controlador alcanzan rápidamente amplias proporciones.

Para un sistema lineal, el tamaño de la función escalonada de entrada no tiene ningún efecto sobre la estabilidad del sistema. Para sistemas no lineales, sin embargo, el tamaño del escalón puede ser un factor importante en la estabilidad.

El sistema críticamente amortiguado es el arreglo óptimo, sin embargo, más que probar con un sistema, se usa una respuesta ligeramente subabatida con el objeto de obtener la mejor respuesta; el primer intento debe ser igual a, o menor del 20% de la perturbación de entrada y cada oscilación sucesiva debe caer y seguir una función exponencial decreciente (figura 13)

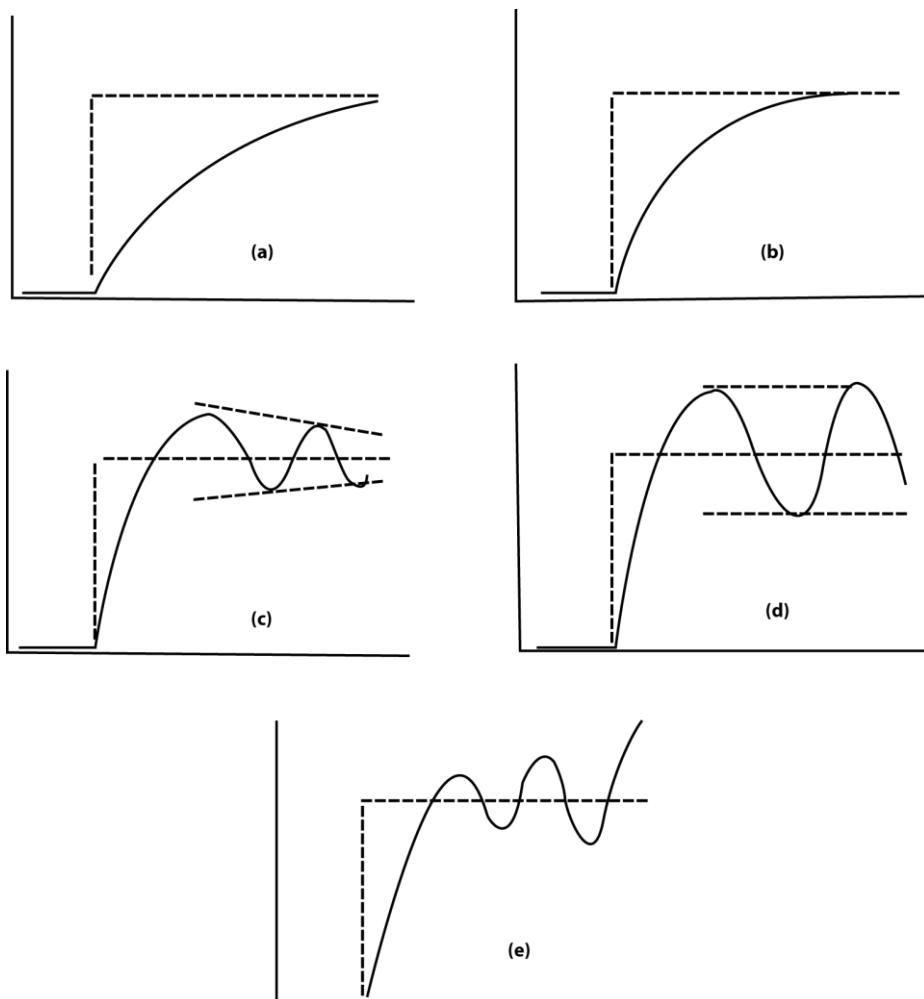


Fig. 12. Estabilidad de control

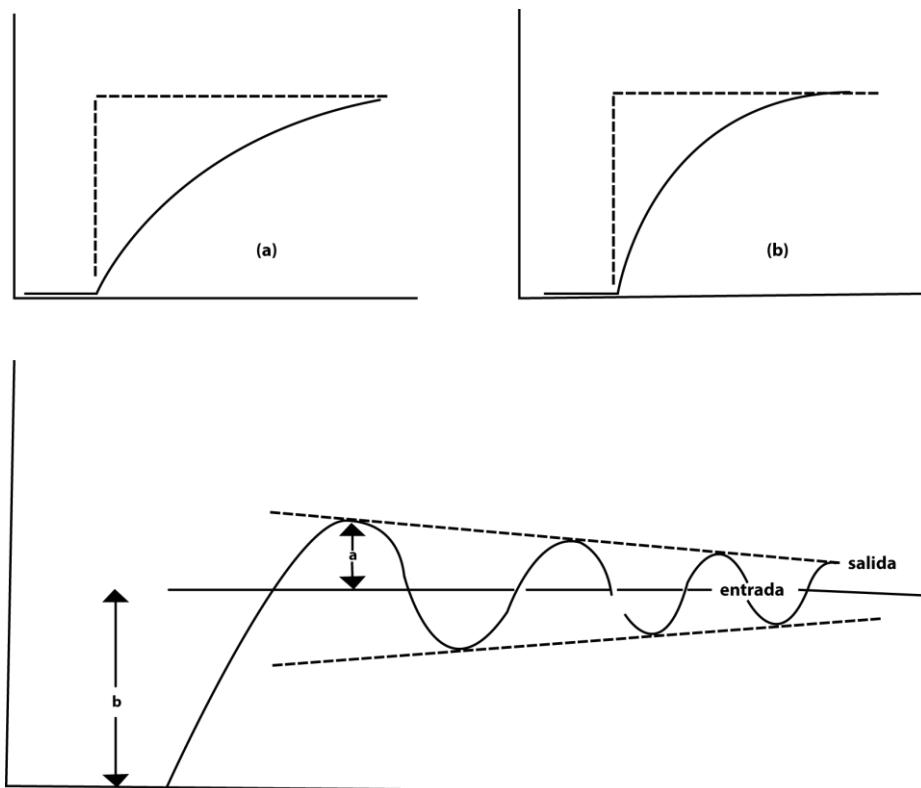


Fig. 13. Sistema críticamente amortiguado

Los diferentes tipos de procesos requieren criterios diferentes en lo que se relacione con la natural satisfacción de la estabilidad del control. Los criterios usados son: área mínima, desviación mínima y mínimo ciclaje.

Para la mayoría de las aplicaciones, se desea generalmente, el área mínima, bajo la curva del proceso, a pesar de que ésta resulta con una desviación del punto de ajuste. Esto es lo que se desea en algunas aplicaciones tales como el procesamiento de alimentos donde un gran desajuste causaría que el producto se eche a perder.

La desviación mínima mantiene un control muy estrecho, a pesar de que se presente una variación cíclica próxima al punto de ajuste fijo: manteniendo pequeñas las desviaciones, se elimina la respuesta indeseable de todo el sistema, que pudiera presentarse con un criterio de área mínima. En esta respuesta resulta una curva ligeramente subabatida.

La variación cíclica mínima es usada donde deben ser evitadas las perturbaciones de cierta duración. Muchos procesos químicos tienen numerosos sistemas en serie. Una perturbación para cualquier período de tiempo se reflejará a través de todo el

proceso. La variación cíclica mínima es el resultado de un sistema estable y críticamente abatido.

Un conocimiento del tipo de sistema y de la variable por controlar hará posible la predicción acerca de la respuesta del proceso. Esto es de gran ayuda al seleccionar la instrumentación requerida.

## Referencias

1. D. Considine. Manual de Instrumentación Aplicada, México 1964.
2. N. Anderson. Instrumentation for Measurement and Control. USA, 1975.
3. A. Kreus. Instrumentación Industrial, México 1981.

# **Determinación de Emisiones en masa para Contaminantes de Origen Vehicular**

J. Soto Nilo<sup>1</sup>, S. Díaz Carmina<sup>2</sup>, M. Salinas Salas<sup>2</sup>, J. Carrasco Núñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias, USACH- Chile.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, USACH- Chile.

<sup>3</sup> Departamento de Mecánica Automotriz, INACAP- Chile.

**Resumen.** En esta última década el problema de la contaminación ambiental ha llegado a ser crítico en la ciudad de Santiago de Chile, debido en gran parte al incremento de las emisiones de origen vehicular. Estas emisiones han aumentado el promedio de la carga de contaminación de la zona capital, deteriorando considerablemente la calidad del aire, en especial el de la zona céntrica. La causa directa de éste daño se debe al funcionamiento de las mismas. A esto debemos sumar, las malas condiciones de calles y avenidas, el nivel de congestión local, la desincronización de semáforos y la distribución mal planificada de los edificios que bloquean una distribución libre del aire.

## **1. Introducción**

En esta última década el problema de la contaminación ambiental ha llegado a ser crítico en la ciudad de Santiago de Chile, debido en gran parte al incremento de las emisiones de origen vehicular. Estas emisiones han aumentado el promedio de la carga de contaminación de la zona capital, deteriorando considerablemente la calidad del aire, en especial el de la zona céntrica. La causa directa de éste daño se debe al funcionamiento de las mismas. A esto debemos sumar, las malas condiciones de calles y avenidas, el nivel de congestión local, la desincronización de semáforos y la distribución mal planificada de los edificios que bloquean una distribución libre del aire.

La evaluación de las emisiones de origen vehicular, han sido una constante preocupación del Ministerio de Salud, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, y últimamente de la Intendencia de la Región Metropolitana. De ésta forma se han ordenado diferentes estudios que conduzcan por una parte a un inventario de Emisiones, un Derecho a Emisiones o Impuestos y otros orientados a la caracterización del Material Particulado.

A la fecha, sólo se han obtenido inventarios estimados para la ciudad de Santiago de Chile, basándose en factores bibliográficos que en ningún caso reflejan las verdaderas emisiones de nuestros vehículos.

Los factores de emisión representan las emisiones en masa, es decir, la masa de contaminante, en gramos por unidad de actividad, ya sea litros de combustible o kilómetros recorridos. Estos factores dependen fundamentalmente del tipo del vehículo, del estado mecánico del mismo, del tipo de combustible usado y de la forma de conducción; los cuales suelen variar notablemente de un país a otro, e incluso, dentro de un mismo país de una ciudad a otra. Todas éstas variables quedan caracterizadas a un “Ciclo de Conducción” de los cuales hay muchos alrededor del mundo.

## 2. Ciclos De Conducción

- a) Ciclo federal de los Estados Unidos y dentro del mismo país el ciclo de California.
- b) Ciclo de la Comunidad Económica Europea que se aplica en la mayoría a los países de ese continente excepto Suecia que se basa en el de USA.
- c) Tres ciclos de conducción japoneses para tres categorías diferentes de vehículos.
- d) Ciclo de conducción de la India.
- e) Ciclo de conducción Australiano.

En América Latina, no se han reportado ciclos de conducción, ni mucho menos referencias de evaluación de emisiones vehiculares. Para hacer éstas evaluaciones tampoco tiene sentido utilizar un ciclo cualquiera, de lo anteriormente mencionado, ya que son propios del país que los origina. Cabe mencionar que las emisiones difieren hasta en un 25% según el ciclo que se utilice.

En Chile los antecedentes disponibles indican que no se han determinado factores de emisión reales, que hayan sido obtenidos de acuerdo a un Ciclo de Conducción y, a una metodología internacionalmente aceptada. Sólo se dispone de emisiones horarias para distintos modos de funcionamiento, tales como aceleración, crucero, frenado ralentí.

En muchos estudios donde se desea una evaluación rápida de la carga contaminante, es práctico utilizar factores de emisiones bibliográficos, sin embargo cuando lo que se requiere es la obtención de un inventario real de emisiones, se debe disponer de factores propios que hayan sido determinados experimentalmente y para las diferentes categorías de vehículos.

Considerando éstos antecedentes que son de gran interés, en especial para las autoridades que se deberán legislar sobre la materia, hemos fijado los siguientes objetivos para el presente trabajo:

### OBJETIVOS

- ❖ Adaptar una metodología de análisis de acuerdo a nuestra realidad y determinar así un ciclo de conducción.
- ❖ Reproducir este ciclo en un dinamómetro de rodillos con cilindro inercial.
- ❖ Establecer una metodología para determinar los contaminantes gaseosos y particulado.

### **3. Desarrollo De Un Modelo De Evaluación**

#### **3.1. Ciclo de Conducción**

La tutoría en éste aspecto la ha tenido Estados Unidos. La preocupación comenzó en 1963, año en que se aprobó la revista científica “El Acta Del Aire Limpio”, la que fuera elaborada con el objeto de estimular la actividad humana para luchar contra la contaminación del aire.

El primer ciclo de conducción utilizado para ponderar las emisiones vehiculares se le llamó Test Federal, basado en 7 regímenes de conducción, cuyas principales etapas las podemos consignar en el siguiente esquema:

Esquema del Test Federal de la conducción USA

- Con un arranque inicial en frio los cuatro primeros ciclos son de “calentamiento” y se les asigno un peso estadístico del 35%.
- El 5% ciclo es solo de transferencia.
- El 6% y 7% se les llamo ciclos estabilizado térmicamente a los que se les asigno un peso estadístico del 65%.
- Las emisiones medidas se reportaron en unidades de concentración en volumen.

Las emisiones contaminantes se reportaron en unidades de concentración; posteriormente, se admitió que la forma más adecuada para medir parámetros emisivos era en masa y no en concentración volumétrica, lo que condujo a que entre los años 70 y 71 el Test Federal fijará sus estándares en masa, como se muestra en la tabla de valores adjunta.

Tabla 1. Estándares de emisiones, para gases de escape de automóviles en USA

Año	HC/(gr/Km)	CO/(gr/Km)	NOX(gr/Km)	Partículas (gr/Km)
Antes de los controles	7,0	50,0	2,5	-
Test Federal 58 – 69	2	21		
70	1,4	14		
71	1,4	14	2,5	-
CVS 1				
71	2,9	29		
72	2,1	24	2,5	-
74	2,1	24	1,9	
CVS 3				
76	0,26	2,1	0,25	0,06

Esto se logró multiplicando las concentraciones gaseosas por la densidad del contaminante y por el volumen de gas de escape emitido que varía en función de la cilindrada del vehículo.

Para los coches del año 1972 y posteriores, se consideró en USA un nuevo Test, que se le llamó CVS (muestreo a volumen constante), que se describe a continuación:

❖ CVS (Constant Volume Sampler)

- El auto se somete a un periodo de espera de 12 hr en un ambiente entre 15°C y 30°C.
- Se procede con un arranque del motor en frío y se continúa con una secuencia de conducción por 505 seg.
- Para los vehículos comprendidos entre 1972 y 1974 se utiliza un (1) globo para recoger los gases diluidos y se habla de CVS-1.
- Para modelos 1975 y posteriores se utiliza el llamado CVS-3, cuyo mecanismo es idéntico al CVS-1, sólo que se utilizan tres(3) globos.

❖ CVS-3

- Completado los primeros 505 seg. Del CVS-1 se cambia el globo de la etapa transitoria a la estabilizada.
- El globo transitorio es analizado inmediatamente.
- Desde los 505 seg. Hasta 1.370 seg. Se recogen los gases diluidos en el globo estabilizado.
- Se detienen por 10 min. Se repiten los 1<sup>eros</sup> 505 seg. Con partida en caliente recogiendo los gases en un tercer globo.
- Se hacen los análisis por separado y se les asigna un peso estadístico.

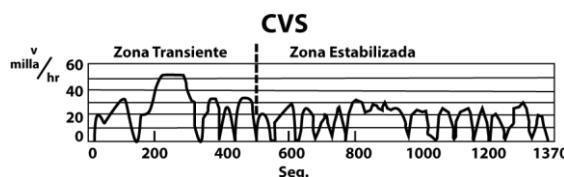


Fig. 1. Muestreo a volumen constante

La filosofía para la construcción del ciclo de conducción en Santiago de Chile, se basó en un análisis de promedio de curvas de velocidad versus tiempo, para cada fase de funcionamiento. Los datos se obtuvieron midiendo un gran número de vehículos bencineros livianos (70 vehículos) a las condiciones de tráfico común y en un recorrido preestablecido, siendo éste un enfoque similar al utilizado en Japón y en Europa, sin embargo los ciclos de USA y Australia, se basan en estudios sobre un

vehículo de prueba que sigue las condiciones del tráfico real para el cual se repiten muchos recorridos idénticos.

Debe dejarse establecido que el ciclo usado en nuestras pruebas es válido para el área de restricción vehicular, ya que fue elaborado con un recorrido de 2 Km en esa zona y, pensando que el problema mayor de contaminación vehicular, se presenta en el área de restricción según lo señaló el Ministerio de Salud y la Intendencia de la Región Metropolitana.

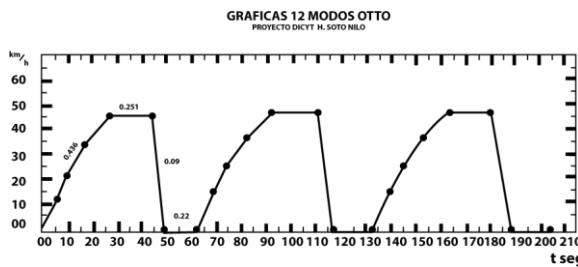


Fig. 2. Gráficas 12 modos autos DTT0

Este ciclo de 12 modos, tiene una velocidad máxima de crucero 50Km/hr. Los pesos estadísticos promedio para los modos de Aceleración, Crucero, Desaceleración o frenado y relantí son respectivamente de un 43,6%, 25,1%, 9% y 22, sólo que en el esquema han sido presentados en tanto por uno.

### 3.2. Túnel de Dilución.

Una de las variables más difíciles de solucionar en los procesos de medición de contaminantes emitidos por motores, es la ruptura del flujo pulsante que los caracteriza. Para lograr éste objetivo se hizo necesario la construcción de un “Túnel de dilución” de acuerdo a normas establecidas por la SAE.

El Túnel de dilución cumple 3 objetivos básicos:

- Transforma el flujo pulsante en continuo, es decir un flujo turbulento y de perfil plano con  $nRE > 4000$ , lo que se logra con una relación largo/diámetro mayor o igual a 20.
- Evita a través de la dilución con aire, que condense vapor de agua, producto de la combustión, ya que éste solubilizaría contaminantes de interés tales como  $HCHO$ ,  $SO_2$  Y  $NO_x$  y se obtendrían resultados erróneos en la zona de muestreo.
- El test se realiza siempre a volumen constante de  $300(\pi^3/min)$  ya que la bomba de circulación centrifuga tiene caudal de arrastre constante. Como se conoce la velocidad y área de entrada del gas de escape al túnel, es decir su caudal, por diferencia se puede determinar el caudal de aire, cualquiera que sea la condición de operación del vehículo en ese instante, éste hecho

permite realizar el balance de masa para cualquier contaminante en el túnel de dilución.

Un esquema simplificado lo podemos representar como se indica en la figura 3, se realizaron de acuerdo al ciclo de circulación pre-establecido usando vehículos bencineros, sin equipos de control y de mediana cilindrada, todos ellos fabricados entre los años 1977 y 1980, sólo dos vehículos petroleros en donde en forma condensada se resume un balance monóxido de carbono (CO).

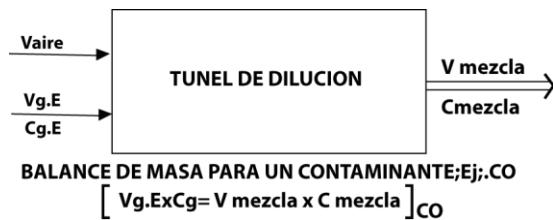


Fig. 3. Túnel de dilución

#### 4. Desarrollo Experimental

Las experiencias de laboratorio se realizaron de acuerdo al ciclo de circulación pre-establecido usando vehículos bencineros, sin equipos de control y de mediana cilindrada, todos ellos fabricados entre los años 1977 y 1980, sólo dos vehículos petroleros.

La secuencia de operación para el muestreo de emisiones contaminantes, la podemos resumir como sigue:

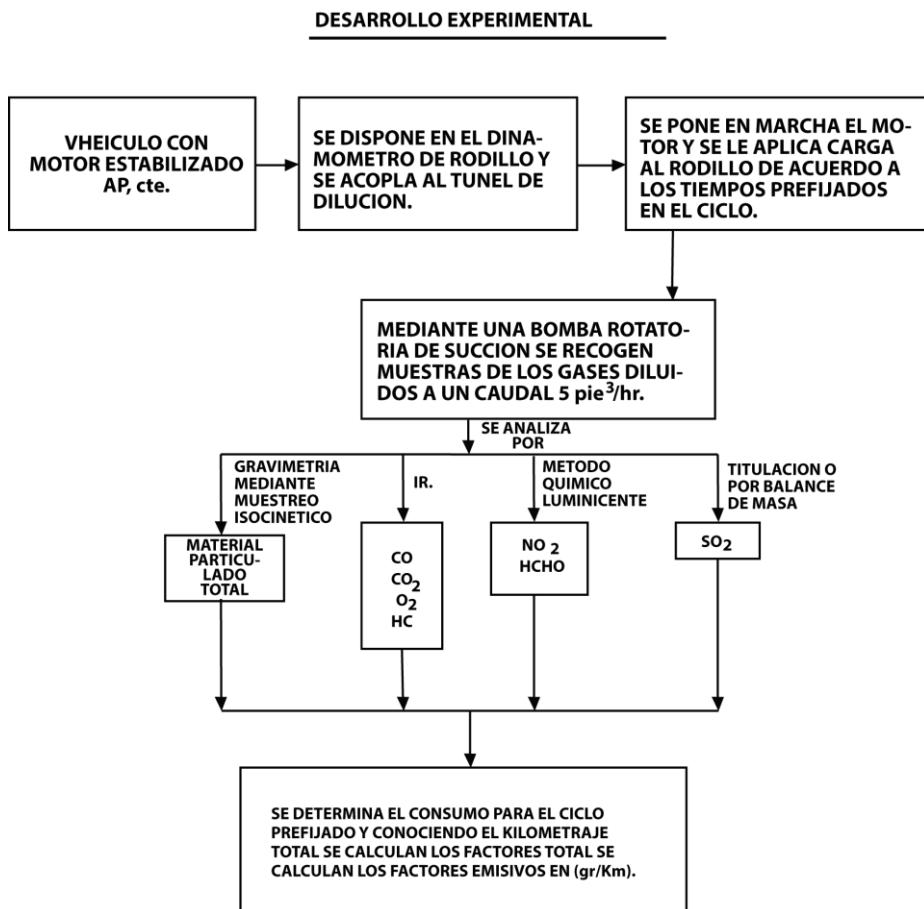


Fig. 4. Desarrollo experimental

Un perfil del equipo utilizado lo podemos apreciar en la siguiente elevación esquemática del túnel de dilución.

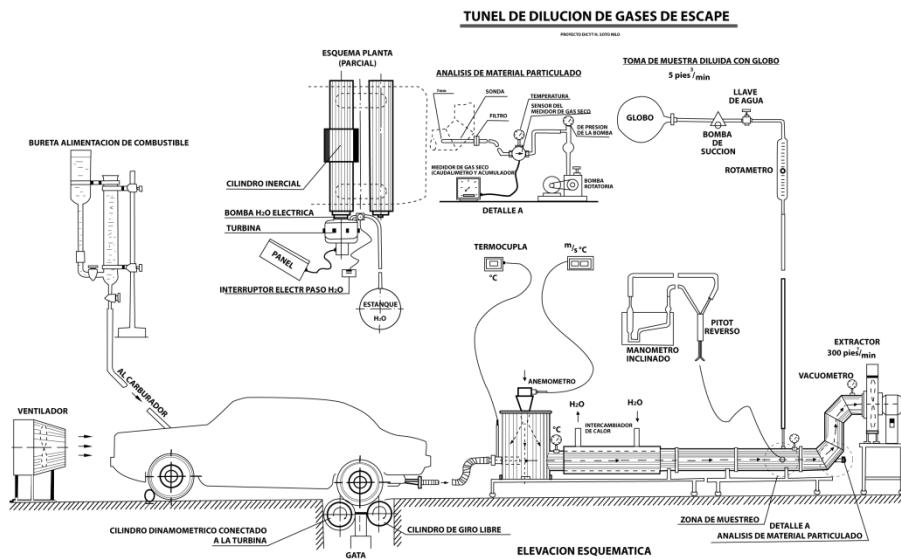


Fig. 5. Túnel de dilución de gases de escape

#### 4.1. Resultados Experimentales

La siguiente tabla de valores reporta los factores emisivos en gr/km para vehículos livianos de mediana cilindrada y a las mismas condiciones mecánicas que se encuentran circulando en la ciudad. Estos resultados son válidos para el área de restricción vehicular establecida para la Intendencia de la Región Metropolitana, ya que el ciclo de conducción fue establecido para esa zona.

Tabla 2. Factores emisivos de vehículos bencineros en (gr./Km)

Vehículos	N NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	HC	HCHO	Part. Total
MAZDA - 323	0,342	0,1246	1,59	0,220	0,0172	0,033
Brasilia - 1600	0,412	0,416	4,08	0,332	0,059	0,031
DATSON - 160 J	0,400	0,263	4,84	0,272	0,029	0,038
Chevette - 1400	0,469	0,295	4,04	0,197	0,107	0,052
DATSON -120 - Y	0,307	0,109	1,62	0,226	0,039	0,039
Peugeot 404	0,620	0,291	3,69	0,22	0,045	0,031

Tabla 3. Factores emisivos de vehículos petroleros en (gr./Km)

Vehículo	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	HCHO	Partícula total
M. Benz 240-D	1,14	2,601	0,931	0,763
Peugeot 504-D	1,17	3,122	0,843	0,351

## **5. Discusión de Resultados**

Todas las determinaciones experimentales se realizaron respecto a la norma internacionalmente aceptada, es decir, un caudal de dilución de 297 pie<sup>3</sup>/min y 8366 lt/min y con variaciones de temperatura, en el gas muestreado, de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  sin condensaciones de vapor de agua y con una razón de dilución de 26:1 en promedio, alcanzando concentraciones lo suficientemente altas para entrar en escala de medición de los equipos y de los sistemas de análisis usados. Bajo estas condiciones, el ciclo de conducción pudo ser reproducido sin mayores inconvenientes coordinando la carga aplicada al dinamómetro con los tiempos preestablecidos en cada uno de los modos (aceleración, crucero, desaceleración y Ralentí) y repetidos éstos cuantas veces fuera necesario para completar el proceso de muestreo.

Los vehículos seleccionados para el análisis correspondiente a automóviles en uso y, sin acondicionamiento mecánico previo. Las medidas se realizaron con motores estabilizados térmicamente y ajenos a cualquier sistema de control de emisiones 48.

En lo que respecta la emisión de monóxido de carbono (CO), el promedio obtenido fue de 3,2 gr. CO/Km con un máximo de 4,84 y un mínimo de 1,62. Estas diferencias son atribuibles al distinto estado mecánico de cada móvil, a la relación aire/combustible (RAC), como también a la diferencias de kilometrajes, lo que implica lógicamente, un factor de deterioro diferente para cada uno, lo cual queda de manifiesto en el “compilation” de la EPA, en donde se reportan los resultados según el año del vehículo. Este contaminante se sabe que depende fuertemente de los parámetros anteriormente señalados. Dado a que el número de vehículos medidos es relativamente bajo como para obtener una muestra promedio representativa, se hace necesario en el futuro y a través de ésta misma metodología, aumentar la información.

Los valores experimentales obtenidos difieren en los reportados por bibliografía extranjera porque el ciclo de conducción utilizado es distinto, del mismo modo, nuestro combustible tiene composición diferente, fundamentalmente en compuestos aromáticos, haciéndolo de ésta forma más resistente a la presión de compresión. Por otra parte en la composición de nuestro parque vehicular se nota una fuerte influencia de la armadura japonesa cuyos estándares de diseño son diferentes a los de USA y Europa, lo que se traduce en variaciones en los niveles de emisión.

Los óxidos de nitrógeno se emiten como una mezcla de NO y NO<sub>2</sub> (mayoritariamente como NO). La metodología de análisis contempla la conversión de NO a NO<sub>2</sub>, siendo éste último absorbido en una solución con reactivo específico que genera un compuesto coloreado, cuya concentración se determina por análisis espectrofotométrico. Los valores experimentales entregaron un factor emisivo promedio de 0,427 (gr NO<sub>x</sub>/Km), notándose poca variabilidad entre un vehículo y otro. Esto podría esperarse ya que los móviles fueron conducidos en forma similar (ciclo de conducción) y las temperaturas se mantuvieron más o menos constantes.

Otro valores reportados por bibliografía muestran promedios mayores a los aquí obtenidos (2,5 gr NO<sub>2</sub>/Km) los que fundamentalmente se deben a la estructura del ciclo de conducción usado, el que contempla un alto porcentaje en la fase de aceleración y desaceleración, que son los que mayoritariamente contribuyen con la emisión de NO<sub>x</sub>.

Las emisiones de óxidos de azufre dependen exclusivamente del contenido de azufre en el combustible, correspondiéndole un alto porcentaje al SO<sub>2</sub> sin embargo otros productos azufrados, tales como sulfatos (SO<sub>4</sub>), trióxido de azufre(SO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y mercaptanos(R-SH) no superan el 8% del total, a esto debemos sumar el contenido de azufre en el combustible son quemar.

Las emisiones de SO<sub>2</sub> son independientes del tipo de máquina y de las condiciones de operación. Solamente depende del contenido de azufre en el combustible, ya que a un menor contenido de azufre, aumenta la conversión de este sulfato (SO<sub>4</sub>) el que se emite como partícula.

Al comparar nuestro promedio (0,25 gr SO<sub>2</sub>/Km) con los valores reportados por la EPA (0,12 gr SO<sub>2</sub>/Km) encontramos que nuestras emisiones son aproximadamente 2 veces mayor. Esto se debe a que las Gasolinas Nacionales tienen un contenido de azufre de 0,2% y las utilizadas en USA, aproximadamente 0,08%.

En lo que respecta a las emisiones de hidrocarburos (HC), el valor promedio obtenido (0,24 gr HC/Km) puede parecernos alto respecto al valor reportado por EPA (0,14 gr HC/Km). Sin embargo, es necesario señalar que estas emisiones en masa, reportadas por la bibliografía, corresponden a vehículos con sistemas de control de gases (convertidores catalíticos), situación que no se da en nuestro parque vehicular. Obviamente, habría que volver a afirmar que el número de muestras fue bajo como para tener un valor representativo y las medidas reportadas por EPA no tienen la misma base de cálculo que la muestra, porque los ciclos de conducción son diferentes.

En relación a los aldehídos (HCHO) emitidos por motores de combustión interna existe muy poca referencia bibliográfica, ya que se le considera un contaminante menor, cuyo promedio (0,06 gr HCHO/Km) es comparativo, en orden de magnitud, al reportado por Henry C. Perkins (0,084 gr HCHO) y a los valores entregados en el quinto Congreso Internacional del Aire Puro que reporta calores entre los 80 y 100 ppm, para una velocidad media de 40Km/Hr. Nuestros valores en concentración están comprendidos entre los 70 y 120ppm para 50Km/Hr como velocidad media.

Los gases de escape y las pérdidas de compresión de los motores de combustión interna contienen partículas de Carbono, cenizas metálicas y de hidrocarburos. Las partículas con base metálicas provienen de los compuestos antidetonantes de plomo presentes en el combustible, de los aditivos metálicos del aceite y lubricante y del deterioro del motos.

Las partículas con base de carbón y de hidrocarburo provienen de la combustión incompleta y del escape del aceite del carter a través de los anillos del pistón. Todo este material particulado se genera durante la combustión para luego ser nucleado en el sistema de escape antes de abandonar el móvil. En resumen, la cantidad y naturaleza de las emisiones de partículas por motores, están influidas por diferentes procesos físico-químicos que hacen muy difícil su descripción completa, razón por la cual sólo se reporta "partícula total" sin su caracterización.

El valor promedio de partículas totales emitidas por los 6 automóviles de prueba fue de 0,036 (g. P.T./Km) teniendo un máximo de 0,052 y un mínimo de 0,031 (gr. PT/Km). Todas las mediciones se realizaron isocinéticamente en el túnel de dilución,

utilizando para éste efecto una boquilla de muestreo de 7mm de diámetro dispuesta en una lanza de 1 m de longitud, acoplada aun portafiltro de 5 cm de diámetro, todo en acero inoxidable. El arrastre se realizó con una bomba rotatoria a un caudal de 9,48 (lt/min) para conseguir la isocinetismo del túnel. El volumen de gas diluido se midió en un motor DGM (Dry Gas Meter) provisto de un sensor infra-rojo (IR) para medir el volumen de gas analizado.

Los resultados obtenidos se encuentran en buenas correlación con los valores reportados por Habibiy colaboradores (0,03 gr/Km para coches nuevos y entre 0,06 y 0,025 gr/Km para coches con mayores de 30.000 Km de recorrido).

Henry C. Perkins reporta para automóviles un sistema de control un promedio de 0,224 (gr M.P./K) para una zona urbana a velocidad media de 40 Km/Hr.

Los vehículos petroleros de mediana y baja cilindrada son relativamente escasos en nuestro parque vehicular, razón por la cual el número de nuestras disponibilidades fue reducido. Sumado a esto, la mayoría de las máquinas petroleras que circulan por nuestra ciudad son mayores a 200Kg-peso, lo cual limita nuestra posibilidad de análisis ya que el dinamómetro que disponemos sólo puede ser usado con máquinas livianas de hasta 1800Kg-peso, sin embargo, los dos vehículos analizados por norma CVS-1 reportaron resultados de factores emisivos mayores que para automóviles en lo que respecta a NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; HCHO y partículas totales y valores muy bajos de CO e H, por la naturaleza de éstos motores. Así la mayor emisión de óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) se debe al contenido más alto de azufre del crudo que se adquiere en nuestro país.

Las emisiones más altas de aldehído (HCHO) se deben fundamentalmente al cracking térmico de un combustible más pesado y a la mayor cantidad de O<sub>2</sub> presente, ya que éstos motores trabajan con exceso de aire. Al verificarse éste tipo de proceso se obtiene a una mayor concentración de radicales alcoxi ((RO) para la reacción en cadena, los que difunden hacia la pared refrigerada degradando su energía de HCHO estables.

Del mismo modo, la mayor emisión de partículas, provenientes de combustiones rápidas, donde el calor no alcanza a ser disipado tomo características adiabáticas, haciendo aumentar la temperatura de la cámara de combustión lo que conduce a la ruptura de las cadenas hidrocarbúricas o cracking térmico, las que simultáneamente pirolisan o descomponen, para luego reorganizarse por pirosíntesis, resultando la formación de Hollin. Este proceso se ve aumentado cuando las mezclas aire/combustible son ricas.

En nuestro país el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, a través del decreto supremo No 100 del 29 de septiembre de 1982 en lo que respecta a emisiones vehiculares, sólo aplicó control sobre el monóxido de carbono (CO) si considerar las emisiones de HC, NO<sub>2</sub> y M.P.t., cuyos factores de efecto son más negativos que el propio monóxido de carbono. Para la movilización Diesel, sólo mide el índice de humo de acuerdo a un esquema propio que no tiene relación con las condiciones de ruta ni con la metodología utilizada internacionalmente.

El estándar de emisión para vehículos bencineros fueron fijados en porcentajes y no en masa, lo cual conduce lógicamente a apreciaciones erróneas, los valores máximos permisibles se reportan a continuación:

Tabla 4. Valores máximos permitidos del índice de humo

Año fabricación	%CO máximo permitido
Anteriores a 1980	4,5
Entre 1981 – 1982	3,5
Desde 1983 a la fecha	3,0

Estos valores son para la condición Ralentí, la que puede modificarse considerablemente para otro modo de operación. De acuerdo a nuestro ciclo de modo de operación, el representa el 22% del total.

Considerando que el 70% de nuestro parque vehicular está integrado por motores japonenses, podía utilizarse los estándares de emisiones japoneses aplicado a nuestro ciclo de conducción. Así, de los 6 vehículos bencineros analizados sólo 2 de ellos estarían dentro de la norma.

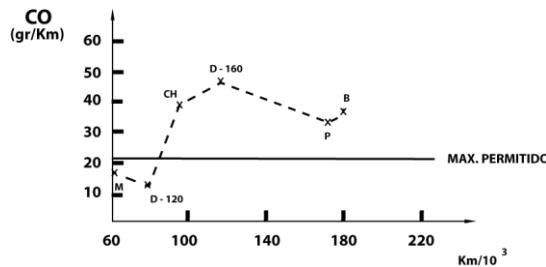


Fig. 6. Gráfico CO/Km (1)

Emisiones de monóxido de carbono para los 6 vehículos a prueba. (comparados contra la norma japonesa).

M= Mazda 323; D-120 ñ Datsun 120 Y; CH = Che-vette; D-160 = Datsun 160 J; P = Peugeot 404. B= Brassilie

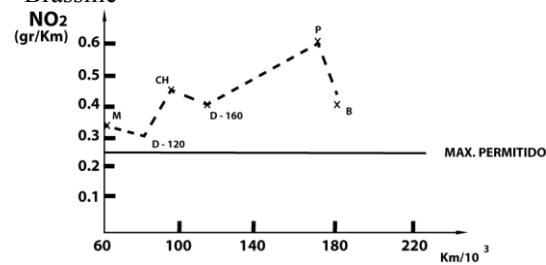


Fig. 7. Gráfico NO2/Km(2)

Emisiones de NO<sub>2</sub> por los 6 vehículos de prueba (comparados contra la norma Japonesa).

En relación a las emisiones de óxido de nitrógeno ninguno estaría dentro de la norma, sin embargo debe dejarse en claro, que éstos estándares han sido exigentes en el tiempo, lo que ha obligado, en estos países a usar sistemas de control de emisiones, que no son usados en Chile. En nuestro país podría comenzarse una forma similar, pero con normas más permisivas en un comienzo y que se hagan más estrictas en un plazo mediato.

Las emisiones de HC, se encontraría todas dentro de la norma japonesa. Esto fundamentalmente se debe al ciclo de conducción, ya que la mayor emisión de HC se produce en el modo de desaceleración y, en nuestro ciclo éste modo sólo representa el 9% del total.

Del mismo modo, las emisiones del material particulado están en todas dentro de la norma, ya que el máximo valor permitido es de 0,06 gr P.T/Km.

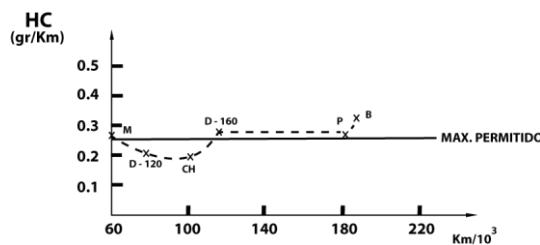


Fig. 8. Gráfico HC/Km (3)

Emisión de HC, por los vehículos de prueba (comprados contra la norma Japonesa).

## 6. Conclusiones

- ❖ Los factores emisivos obtenidos, representan una muestra muy reducida de nuestro parque vehicular y se hace necesario ampliar la información en un futuro próximo de acuerdo a la metodología pre-establecida que es internacionalmente aceptada.
- ❖ A pesar de ser reducida las muestras analizadas, los resultados obtenidos son de interés porque representan no sólo las primeras medidas hechas según norma CVS-1, sino que además, bajo un ciclo de conducción propio que fuera establecido para el área de restricción vehicular de la Región Metropolitana.
- ❖ Estos resultados preliminares podrían servir de base al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones ya que el esquema propio adoptado, para las actuales mediciones no se rige por ninguna Norma y, los resultados así obtenidos o tienen validez comparativa con lo reportado por países que ya tienen toda una tradición en el tema. Este aspecto es muy importante si se pretende legislar en el futuro

sobre “Derechos de emisiones” y fijar de ésta forma los “Estándares de Emisión” para gases de escape de vehículos de acuerdo a nuestra propia realidad nacional.

- ❖ El control de “humo” que actualmente se realiza en motores Diesel, es muy subjetivo, porque las escalas utilizadas para la medición, son porcentajes y determinadas por apreciación comparativa visual entre estas escalas figuran:

- La de Bosch o porcentajes de área negra.
- La escala Ringelman.
- La del porcentaje de opacidad o densidad óptica.
- La de porcentaje de transmitancia.

Sin embargo, la medición más eficiente y reproducible es la determinación gravimétrica de partículas, mediante el muestreo isocinético, como los mostraron los resultados obtenidos en este trabajo.

- ❖ La forma de medir las emisiones vehiculares son en masa y no en porcentaje volumétrico, como se hace actualmente la inspección vehicular en nuestra ciudad, ya que esto conlleva a presiones erróneas

#### Nomenclatura

$\dot{m}_{\text{E}}$  = emisión horaria del gas de escape (gr/min).

$\dot{m}_{\text{C}}$  = consumo horario de combustible (gr/min).

RAC = relación aire-combustible en masa (gr. Aire/gr. Bencina).

$p^{\text{st}}$  = densidad estandarizada (gr/ml).

$V_{\text{gE(st)}}$  = volumen de gas de escape en litros y estandarizado a 25°C y 1 atm.

$d_p$  = depresión del ventilador centrífugo: 8mm Hg.

$\vartheta$  = caudal de los gases en el túnel (lt/min).

$V_{\text{MIX}}$  = volumen de mezcla (gases de escape + aire).

$f$  = factor de dilución del túnel.

$F_E$  = factor emisivo (gr. De contaminante/Km).

ppm = parte por millón (p:peso; v:volumen).

0.8 = representa el factor de aprovechamiento del combustible medido en la bureta de consumo, ya que se estima que un 20% del combustible total se pierde por:

- a) Evaporación (H. Perkins “Air Pollution”)
- b) Por la filtración de mezcla combustible hacia el carter durante la carrera de compresión, ya que los anillos no son herméticos (J.H. Seinfeld “Contaminación Atmosférica”).