



Eficiencia energética en sistemas térmicos

Mtro. Augusto Sánchez Cifuentes

Ing. Rosa María Jiménez Olmos

Ciudad de México, 28 de agosto de 2019





Contenido

Calderas y sistemas de vapor

Hornos

Intercambiadores de calor

Aislantes





Calderas y sistemas de vapor



Componentes de los sistemas de vapor



- **Generación**

- caldera
- auxiliares de las calderas
- equipos de tratamiento de agua
- desgasificador
- bombas de agua de alimentación
- equipo de almacenamiento y manipulación de combustible

- **Distribución**

- tuberías de vapor
- estaciones de alivio de presión

- **Usos finales**

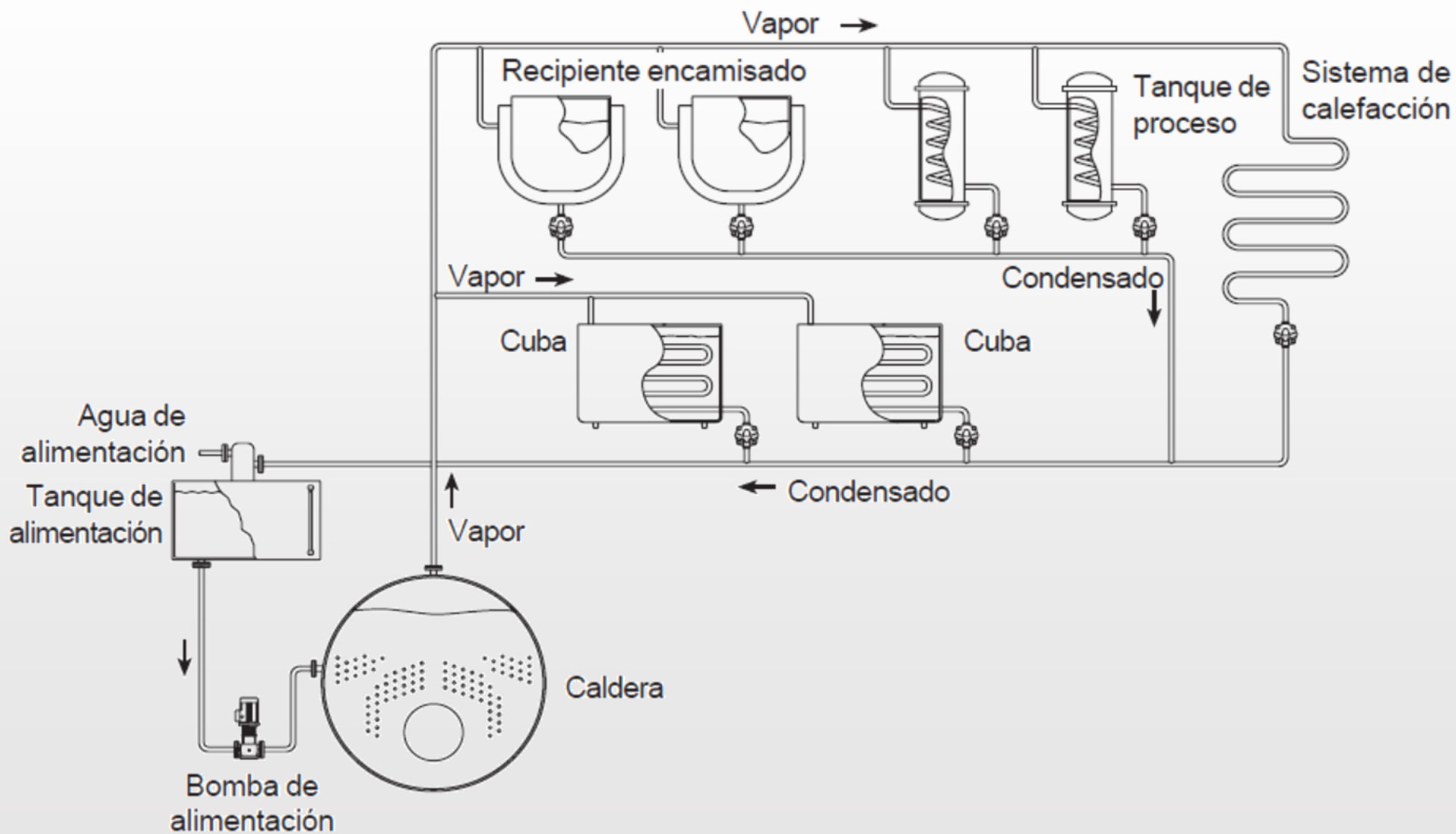
- turbinas de vapor
- intercambiadores de calor
- inyección de vapor directo
- columnas de separación
- evaporadores, etc.

- **Recuperación**

- trampas de vapor
- recuperación de condensado y retorno al sistema
- bombas de condensado



Sistema de vapor típico





Auditoría del sistema de vapor



Pruebas de Combustión

- Se mide la temperatura tanto los gases de escape como del aire de combustión
- Medición de ya sea el oxígeno o el contenido de dióxido de carbono del gas de escape para determinar la calidad de la combustión
- El equipo adecuado para ello es un analizador de gases de combustión electrónico y un termómetro

El análisis del agua de alimentación de calderas

- Analizar una muestra representativa de los informes de tratamiento de agua.
- Revisar las entradas del libro de registro del cuarto de calderas para purgas y sólidos disueltos totales (TDS).

Inspección de fugas

- Realizar mediciones ultrasónicas para detección de fugas
- Inventariar las fugas
- Establecer un programa de corrección de fugas.

Imágenes térmicas

- Detectar obstrucciones y fugas a través de una inspección de imágenes térmicas.
- Comprobación del sistema de distribución



Factores que afectan la eficiencia de la generación de vapor



- Factores que reducen la eficiencia térmica
 - Los períodos de poca carga/sin carga
 - Calderas en desuso o en espera activa
 - Balanceo de la carga a corto plazo
- Factores que aumentan la eficiencia térmica
 - Cargas constantes estables
 - La operación continua



Ahorros potenciales de energía



Técnica / Método	ahorro de energía potencial
Operación y mantenimiento de calderas	Hasta 5%
Sistemas de gestión de calderas y quemadores , control digital de la combustión y el ajuste de oxígeno	Hasta 5%
Economizadores	Hasta 5%
Recuperación de calor de purgas	Hasta 4%
Precalementamiento del aire de combustión	Hasta 2%
Tratamiento de agua y acondicionamiento del agua de la caldera	Hasta 2%
Control del total de sólidos disueltos (TDS) y purgas de la caldera	Hasta 2%
Sistema de interrupción/amortiguamiento de gases de combustión	Hasta 1%



Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales



Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
Selección de los equipos de acuerdo con las necesidades y condiciones del proceso	Técnico	Realizar un análisis técnico detallado de los requerimientos de vapor y calor para las condiciones del proceso en donde se va a instalar el nuevo equipo.
Cumplimiento de la normativa ambiental de emisiones	Ambiental	Debe asegurarse que los sistemas de control de emisiones permitan el cumplimiento de la normativa local de acuerdo con el combustible que use la caldera.
Disposición final de residuos.	Ambiental	En caso que la caldera antigua no pueda ser utilizada como respaldo, se debe entregar las calderas sustituidas a una compañía especializada que certifique su disposición final adecuada.
Ahorros generados por el proyecto.	Técnico / financiero	<p>Realizar un estudio técnico donde se realicen mediciones de campo de consumo de combustible y generación de vapor para determinar la eficiencia actual de la caldera y la línea base del proyecto con la cual se calcularán los ahorros generados por el proyecto.</p> <p>Realizar la operación y mantenimiento de los equipos de manera adecuada para garantizar que siempre operan con la máxima eficiencia que garantiza los ahorros en el proyecto.</p>



Ejemplo: hospital

Oportunidad	Ahorro de energía, l/año	Ahorro en energía, GJ/año	% de ahorro	Mitigación GEI, ton CO2 eq/año	Beneficios Económicos, MXN\$/año	Inversión, MXN\$	PSRI, años
Cambiar de combustible	0	0	0%	51	687,553	1,523,000	2.2
Carburar la caldera	2,217	79	3%	6	16,865	0	0.0
Instalar aislamiento térmico en tuberías	14,731	524	18%	39	211,683	206,362	1.0
Instalar aislamiento desmontable para válvulas	3,630	129	5%	10	52,163	17,400	0.3
Reparar fugas de vapor	796	28	1%	2	12,748	5,000	0.4
Reparar/reemplazar trampas de condensado	7,182	202	7%	15	85,605	7,000	0.1
Recuperar los condensados	385	14	0%	1	5,534	20,000	3.6

Fuente: Nacional Financiera, curso "Evaluación Económica de Proyectos de Eficiencia Energética y Energías Renovables", 2016



Hornos



Uso de hornos

Sector industrial	Tipo de horno	Proceso
Cal y cemento	Hornos rotatorios	Calcinación de caliza
Cerámico	Hornos de túnel	Cocción de materiales cerámicos.
Siderúrgico	Altos hornos Horno de arco eléctrico	Reducción de mineral de hierro y producción de acero a partir de chatarra.
Metalmecánico	Hornos eléctricos	Tratamientos térmicos
Agroindustria	Hornos rotatorios	Secado de productos
Alimentos	Hornos de túnel	Producción de galletas

Fuente: Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética, CAF

Las tecnologías de hornos son diversas y se aplican en múltiples sectores, por ello resulta difícil establecer medidas de eficiencia energética que sean aplicables a los hornos en general.



Oportunidades de mejora

- Optimización de los procesos de combustión.
- Combustión con oxígeno o aire enriquecido.
- Recuperación de calor y cogeneración de energía.
- Aislamiento térmico.
- Cambio de tecnología de hornos



Inversiones indicativas en proyectos de eficiencia energética en hornos



Proyecto	Descripción	Inversión Aprox. USD	Potencial de Ahorro energético (%)	Periodo de retorno simple (Años)
Control y optimización de la combustión.	Instalación de sistemas electrónicos y de monitoreo de para regular la relación AireW/Combustible y mantener la eficiencia de la combustión.	100.000 a 1.000.000 dependiendo tipo y tamaño del horno.	20 a 30% del consumo de combustible.	2 a 5 años dependiendo del precio de los energéticos.
Oxycombustión.	Uso de oxígeno o aire enriquecido en los procesos de combustión en hornos que operan al alta temperatura.	1.000.000 a 5.000.000 dependiendo del tipo y tamaño del horno.	30 a 40% del consumo de combustible.	4 a 6 años dependiendo del precio del oxigeno y el precio del combustible.
Recuperación de calor y cogeneración de energía.	Recuperación de calor para usar en el mismo horno, en el proceso de producción o para la generación de energía eléctrica.	500.000 a 10.000.000 dependiendo del tipo de industria y la aplicación del calor.	15 a 30 % de la energía consumida	1 a 5 años dependiendo del precio de los combustibles y de la energía eléctrica.
Aislamientos térmicos de alta eficiencia.	Instalar o reemplazar aislamientos térmicos por materiales de alta eficiencia.	100.000 a 3.000.000 dependiendo del tipo de horno.	10 a 20% de la energía consumida en el horno.	3 a 6 años dependiendo de la temperatura a la cual operan los hornos y los precios de los combustibles.
Cambio de tecnología de hornos.	Reemplazo de hornos periódicos y eléctricos por hornos continuos y hornos que operen con combustible.	100.000 a 2.000.000 dependiendo del tipo de horno que se sustituya y la capacidad de producción.	30 a 50 % del consumo y el costo del combustible.	2 a 5 años dependiendo de los precios de los combustibles y de la energía eléctrica.

Fuente: Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética, CAF





Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales



Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
Cumplimiento de normas ambientales.	Ambiental	Verificar que los hornos cuentan con los sistemas de control, tratamiento de gases y las certificaciones ambientales locales necesarias, para asegurarse de que cumplen con las regulaciones de emisiones locales.
Cumplimiento de los requerimientos del proceso.	Técnico	Verificar que la selección del horno y las inversiones que se hagan mantengan las condiciones de operación del proceso sin afectar los niveles de producción y la calidad del producto final.
Confiablez en la operación de las tecnologías.	Técnico	Seleccionar equipos de proveedores reconocidos, que estén diseñados para trabajar de manera continua en las condiciones de temperatura que requiere el proceso.
Uso de materiales inflamables para la combustión.	Técnico	En el caso de usar oxígeno para la combustión instalar los sistemas de seguridad y control que permitan una operación segura de la instalación.



Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales



Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
Reducción de emisiones de GEI.	Ambiental	Verificar que el diseño del proyecto alcanza la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de combustibles, y en consecuencia la reducción de emisiones de GEI óptima.
Disposición de residuos especiales y peligrosos	Ambiental	Asegurarse de que los residuos que se generan durante la operación de los hornos, sean dispuestos de manera adecuada por la empresa o sean entregados a un gestor de residuos que cuente con los permisos y autorizaciones para hacer la disposición final de los mismos.
Ahorros en los proyectos de eficiencia energética	Técnico / Financiero	Verificar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.

Fuente: Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética, CAF



Caso de estudio

Una **empresa cerámica** pretende desarrollar un **proyecto de sustitución** de un horno de **producción por lotes** a un horno de producción tipo túnel de **operación continua**. De acuerdo con las mediciones de la empresa, el consumo específico de combustible en el horno actual es de 0.3 m³ de gas natural por cada kilogramo de producto cerámico que es tratado en el horno y la producción anual es de 10 000 toneladas de producto. Se pretende instalar un horno túnel de alta eficiencia que puede tener un consumo específico de combustible de 0.2 m³ de gas natural por kilogramo de producto. De esta forma, el ahorro de gas natural que genera el cambio de horno es de 2 100 000 m³ de gas natural por año.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Consumo de energía.	kWh/año	NA	NA
Consumo de combustible.	m ³ /año	3.000.0000	2.100.000
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año	5.400	1.620

Se alcanzan ahorros anuales de 540.000 USD por el horno reemplazado, el retorno simple de la inversión es de 4,6 años y se pueden reducir las emisiones anuales de la empresa 1.620 toneladas de CO₂, lo cual hace al proyecto viable desde el punto de vista financiero y ambiental.



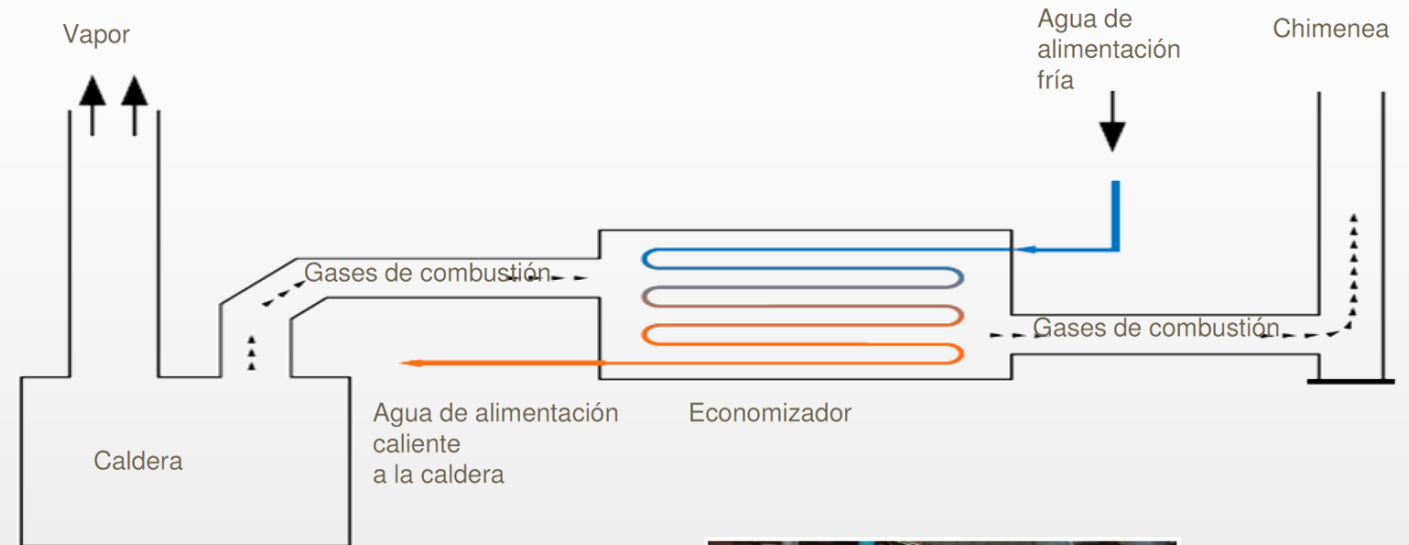
Intercambiadores de calor



Intercambiadores de calor



- Precalentador
- Radiador
- Aire acondicionado, evaporador y condensador
- Condensador de vapor.



Placas



Casco y tubos



Aplicaciones Industriales

Industria alimentaria

Enfriamiento, termización y pasteurización de leche, zumos, bebidas carbonatadas, salsas, vinagres, vino, jarabe de azúcar, aceite, etc.

Industria química y petroquímica

Producción de combustibles, etanol, biodiésel, disolventes, pinturas, pasta de papel, aceites industriales, plantas de cogeneración, etc.

Industria del Aire acondicionado

Cualquier proceso que implique enfriamiento o calentamiento de los gases.

Calefacción y Energía Solar

Producción de agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, producción de agua caliente mediante paneles solares, etc.

Industria marina

Enfriamiento de motores y lubricantes mediante el empleo del agua del mar.



Recuperación de calor - Estudio de caso



Dos proyectos de recuperación de calor para mejorar el rendimiento de calderas implementados en una planta química resultaron en:

- Ahorros anuales de costos:
 - MX 1,564,416 para una inversión de MX 1,548,120
- Ahorros de energía anuales de:
 - 7,163 MWh, lo que equivale a un ahorro de carbono de 1,412 toneladas / año
- La eficiencia de la caldera aumentó en un 9.8%
- Periodo de retorno de poco menos de un año



Aislantes



Selección adecuada de aislamientos térmicos



Características de un buen aislante

- ❖ Baja conductividad calorífica (Ej: materiales con burbujas de aire)
- ❖ Ligero → no recargar el peso de las instalaciones
- ❖ Incombustible e imputrefactivo
- ❖ Que no sea atacado por roedores o insectos y que no crie bichos
- ❖ Inerte
- ❖ Fácil de colocar



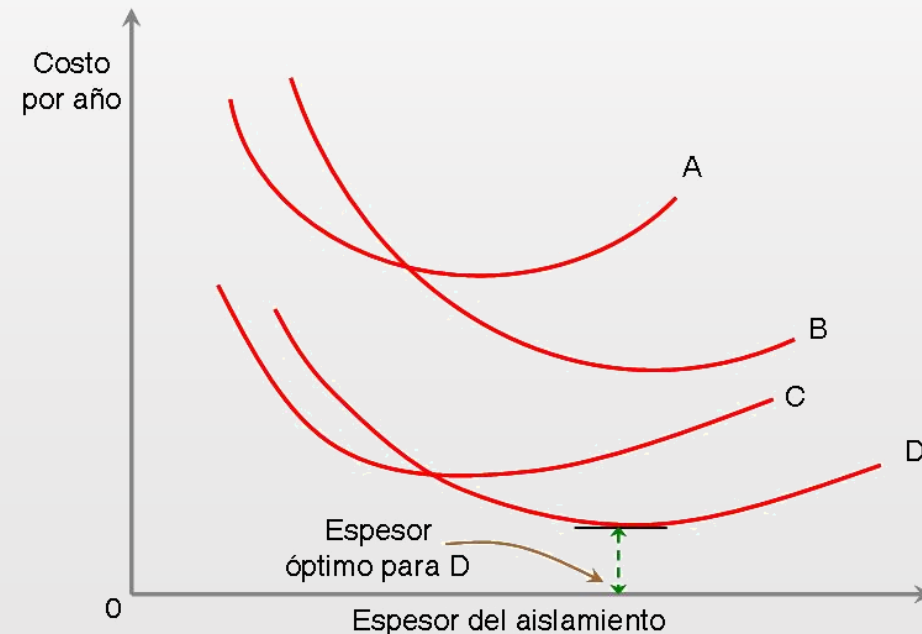
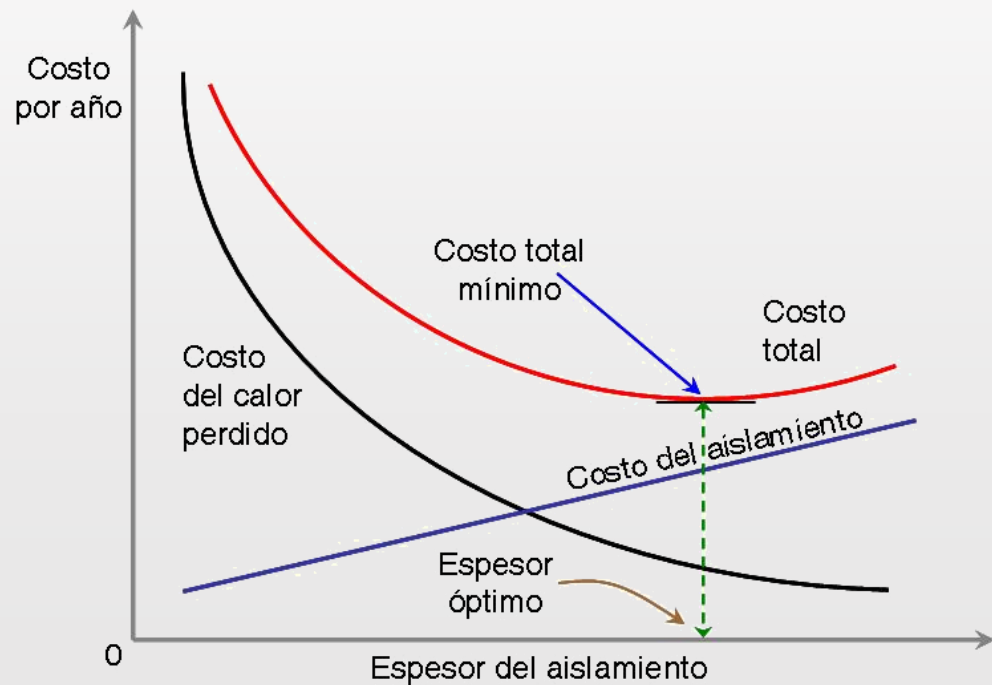
Los aislantes térmicos son materiales heterogéneos con baja conductividad térmica, empleados para crear una resistencia al flujo de calor



Espesor del aislamiento óptimo



El aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la transferencia de calor, pero también más elevado el costo del aislamiento





Selección adecuada de aislamientos térmicos



❖ Razones

- ✓ Economizar energía
 - Térmica o calorífica
 - Eléctrica
- ✓ Confort y bienestar
 - Ausencia de ruido
 - Tranquilidad
 - Temperatura adecuada

❖ Ventajas en viviendas, oficinas y centros comerciales

- ✓ Ahorro de energía eléctrica
- ✓ Mayor confort
- ✓ Menor inversión en equipo de acondicionamiento de aire

❖ Beneficios en la industria

- ✓ Ahorro de energía: eléctrica y combustibles
- ✓ Menor inversión en equipo
- ✓ Confort
- ✓ Operar dentro de normas establecidas



Caso de éxito



- ❖ Una planta que trabaja continuamente tiene un costo de vapor de \$ 0.05 / MJ, una inspección del sistema de vapor detectó 340 m de tubería desnuda de 25.4 mm de diámetro y 53 m de tubería desnuda de 50.8 mm de diámetro, ambas operando a 10.56 kg/cm²; se encontró también otra línea desnuda de 76 m y 101.6 mm de diámetro operando a 1.05 kg/cm².
- ❖ La cantidad de calor perdido por año es:
 - 25.4 mm 340 x 9866 MJ/año = 3 354 440
 - 50.8 mm 53 x 16616 MJ/año = 880 648
 - 101.6 mm 76 x 14366 MJ/año = 1 091 816
 - Total de pérdida de calor = 5 326 904 MJ/año
- ❖ El monto anual del ahorro, instalando un aislamiento con el 90% de eficiencia, es:
- ❖ $0.90 \times 0.05 \text{ \$/MJ} \times 5\,326\,904 \text{ MJ/año} = \text{\$ 239 710 anuales}$
- ❖ Recuerde que una válvula de 152 mm (6 plgs.) puede tener más de medio metro cuadrado de superficie por la que se pierde el calor.

PÉRDIDA DE CALOR POR CADA METRO DE LINEA DE VAPOR SIN AISLAMIENTO*				
Diámetro de la línea de distribución (mm)	Pérdida de calor en MJ/año			
	1.05 kg/cm ²	10.56 kg/cm ²	21.12 kg/cm ²	42.25 kg/cm ²
25.4	4846	9866	12981	17135
50.8	8135	16616	21808	29078
101.6	14366	29424	38770	51924
203.2	25616	53309	70271	94329
304.8	36520	76156	100733	135695

Tabla 1 * En base a tubería de acero (horizontal), 24°C de temperatura ambiente, sin velocidad de viento y una operación anual de 8760 horas.



¿Preguntas?





¡Gracias!

Mtro. Augusto Sánchez Cifuentes

Ing. Rosa María Jiménez Olmos

augsan@unam.mx

rosamaria.jimenez@comunidad.unam.mx

55 562 23138, 55 5622 3139

Ciudad de México, 28 de agosto de 2019