

Journal of Engineering Research

Acceptance date: 21/02/2025

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE LAS CHIMENEAS EN LOS GENERADORES DE VAPOR DENTRO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Susana Lezama Álvarez

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco, Coacalco, MÉXICO

Raquel Eunice Hernández Ramírez

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco, Coacalco, MÉXICO

María Teresa Torres Mancera

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de
Coacalco, Coacalco, MÉXICO

Fernando Zarzosa León

Laboratorio de Desarrollo Químico con el
Agua, Gerencia de Estudios de Ingeniería
Civil, Comisión Federal de Electricidad,
MÉXICO

All content in this magazine is
licensed under a Creative Com-
mons Attribution License. Attri-
bution-Non-Commercial-Non-
Derivatives 4.0 International (CC
BY-NC-ND 4.0).



Resumen: En este artículo se presenta un estudio minucioso de las variables que intervienen en el deterioro paulatino que presentan las chimeneas de los equipos generadores de vapor en centrales termoeléctricas, principalmente las que operan con combustibles pesados. Los estudios se llevaron a cabo mediante la toma de muestras de material seco y muestras de lavado a diferentes alturas dentro de la chimenea. La toma de muestras se realizó principalmente en las regiones que presentaban mayor deterioro. Posteriormente se realizaron análisis químicos tanto al agua de lavados; cloruros, sulfatos, nitratos, dureza, metales varios; como a las cenizas, en cuanto a azufre y humedad. Al analizar los resultados se observó que el deterioro se debe principalmente a la acidez generada por la combinación de la ceniza y agua pluvial, aunado a las temperaturas elevadas de las chimeneas. Ambas condiciones constituyen un ataque directo a los materiales de estas favoreciendo la presencia de corrosión en los equipos de generación de vapor de las centrales termoeléctricas.

INTRODUCCIÓN

La generación de potencia en las Centrales Termoeléctricas involucra el suministro de energía calorífica al agua desde su estado líquido hasta la generación de vapor sobrecalentado, para ello se utilizan combustibles fósiles tales como carbón, Diesel, combustóleo o gas natural para ser utilizado en los equipos de generación de vapor (calderas).

En las centrales termoeléctricas, sobre todo en las de grandes capacidades, las calderas están sometidas a condiciones cambiantes y en ocasiones, extremas, tanto de operación como ambientales, por lo que, a medida que pasa el tiempo, los materiales de construcción sufren daños en su estructura externa e interna. Tal es el caso de las chimeneas, mismas que en mayor medida están expuestas a diferentes condiciones físicas, químicas y ambientales,

ya sea por el proceso mismo, por las condiciones del medio que las rodea o ambos casos, en cuya situación, se complica aún más su deterioro causando deformaciones, agrietamientos y posteriores desgastes seguidos de fracturas de pequeñas y grandes dimensiones, lo que complica su eficiencia y funcionamiento¹.

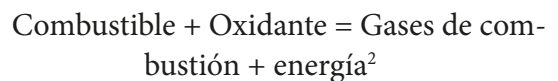
El estudio reportado en este artículo se enfoca en la necesidad de conocer las causas de dicho deterioro con la finalidad de proponer posibles soluciones preventivas y/o correctivas, alargando así la vida de los materiales de construcción de los equipos mencionados.

TEORÍA

EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS

La combustión se lleva a cabo en cuanto la sustancia llamada combustible, se convierte por medio de una reacción química de oxidación, en productos de combustión y energía, en el caso de las centrales termoeléctricas, se produce energía calorífica suficiente para cambiar de estado el agua líquida, evaporarla y producir vapor sobrecalentado.

Las centrales termoeléctricas operan utilizando combustibles fósiles, ya sea carbón, Diesel o gas natural, mismos que actúan como reactivos en el caso de las reacciones de combustión en conjunto con el Oxígeno para producir la energía calorífica. La reacción general se expresa como sigue:



A este tipo de reacción se le llama exotérmica, es decir, una reacción que libera energía.

Los gases de combustión producidos en cada caso tienen altas temperaturas, lo cual, como se verá en los análisis realizados, constituye un factor importante en los daños evaluados.

La capacidad de producción de energía de los combustibles se evalúa con base en la cantidad de energía liberada por unidad de masa o mol durante el proceso. A esta propiedad se le llama poder calorífico y se mide con un calorímetro por medio del calor liberado por el combustible al fluido circundante.

Como consecuencia de las condiciones mencionadas, se presentan deterioros en los materiales que generan grietas y fracturas en las chimeneas de las calderas, ya que dichas condiciones se combinan con el medio ambiente agravando aún más los problemas mencionados.

Por otro lado, se consideran las plantas generadoras de electricidad como una de las fuentes más contaminantes en cuanto a los procesos de combustión, precisamente por los gases emitidos a la atmósfera provenientes de la combustión.

Los gases emitidos en las chimeneas donde se lleva a cabo el proceso de combustión dependen principalmente de la calidad del combustible. Los principales contaminantes considerados en la emisión de las chimeneas son CO, CO₂, SO_x, metales pesados, hidrocarburos, dioxinas y furanos.

Aún en el proceso de combustión hay algunas sustancias que permanecen en su forma original, mientras que otras se transforman en productos nuevos. Un ejemplo de los primeros son los metales pesados que no se descomponen con la combustión, por el contrario, se concentran en los nuevos residuos³.

Las sustancias anteriores en combinación con los factores ambientales, como el agua de lluvia, generando lo que se conoce como lluvia ácida, dando como resultado en estos casos el deterioro de la mampostería de las chimeneas entre otras afectaciones materiales y humanas.

La lluvia ácida se debe a los ácidos carbónico, sulfúrico y nítrico, mismos formados a partir de la combinación de los gases de

combustión antes mencionados y el agua de la lluvia. Este fenómeno causa daños graves a plantas, animales y mantos acuíferos en cuestión de medio ambiente y en cuestión material afecta gravemente estructuras y construcciones debido a la acidez misma del agua⁴.

EL COMBUSTÓLEO EN MÉXICO

La composición del combustóleo depende de dos factores: la naturaleza del crudo y el proceso de refinación del que proviene, de tal manera que la composición durante el proceso de destilación no se altera y su calidad depende principalmente del petróleo crudo, misma que se determina por la cantidad de metales, peso molecular medio, relación C/H (Carbono-Hidrógeno) entre otros.

El combustóleo utilizado en las centrales termoeléctricas en México por la CFE, contiene una cantidad considerable de azufre, de tal manera que al llevarse a cabo la combustión, el azufre se oxida generando óxidos (SO_x). Los SO_x comprenden principalmente el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃). El SO₃ se produce por dos rutas principales: oxidación homogénea (se lleva a cabo con oxígeno atómico y molecular) y oxidación heterogénea (se lleva a cabo en una superficie sólida como algunos compuestos de sodio, hierro y vanadio presentes en la ceniza).

La composición media del combustóleo en México es de C (84%-87%), H (10%-14%), O y N (2.6%), S (2.5%-4%) y pequeñas cantidades de V (Vanadio), Ni (Níquel) y Na (Sodio)⁵.

PARTE EXPERIMENTAL

TRABAJOS DE CAMPO

Se realizaron tomas de muestra, tanto de cenizas como de lavado de paredes de acuerdo con las figuras 1 y 2.



Figura 1. Toma de muestras de ceniza

La ceniza fue desprendida con ayuda de una espátula y una brocha en los lugares que se indican más adelante en la figura 3.

Las muestras recolectadas se lavaron varias veces con agua desmineralizada aplicada con una piseta dentro de un área aproximada de 1 m².



Figura 2. Toma de muestras de lavados

El agua de lavado se recolectó en bolsas identificadas con base en los puntos de recolección indicados en la figura 3.

Las recolecciones se realizaron en 4 alturas diferentes: 114m., 88 m., 60m. y la base de las chimeneas, así como en 5 puntos horarios diferentes en la circunferencia de ambas. Todos los puntos señalados de igual manera en la figura 3.

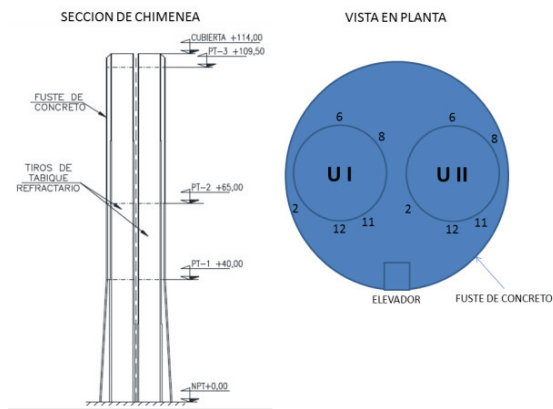


Figura 3. Sitios de muestreo de altura y circunferencia en las chimeneas

Adicionalmente, en cuanto a cenizas, se consideraron 5 de los residuos del “cenicero”, lugar donde el personal de la central termo-eléctrica estudiada acumula los residuos mencionados en tambores.

TRABAJO EN LABORATORIO

A las muestras de lavado obtenidas se les realizaron las pruebas en el laboratorio de desarrollo químico del agua (LDQA) de acuerdo con la tabla 1.

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Nomenclatura:

U: se refiere a la chimenea UI o UII

Los números entre paréntesis indican el punto de la circunferencia en el que se tomó de la respectiva unidad

Finalmente se indica la altura

En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados con la respectiva identificación de las muestras.

En la tabla 2 se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio de química del carbono (LQC)

ENSAYO	PROCEDIMIENTO ANALÍTICO DE LABORATORIO	NORMA MEXICANA DE REFERENCIA
Cloruros	(CCFQ5-19) DETERMINACIÓN DE CLORUROS	NMX-AA-073-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
Sulfatos	(CCFQ5-16) DETERMINACIÓN DE SULFATOS	METODOS ESTANDAR PARA EL ANALISIS DE AGUAS POTABLES Y SUBTERRANEAS, ED 19, 1995 4500-SO4- 2. E
Nitratos	(CCFQ5-11) DETERMINACIÓN DE NITRATOS	NMX-AA-082-1986 CONTAMINACIÓN DEL AGUA DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO DE NITRATO MÉTODO ESPECTROFOTOMETRICO ULTRAVIOLETA
Sodio, potasio, calcio, sílice, magnesio, hierro, manganeso, níquel, vanadio	(CCAA5-02) DETERMINACIÓN DE METALES POR FLAMA	NMX-AA-051-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA DETERMINACIÓN DE METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
Dureza total calculada	(CCAA5-02) DETERMINACIÓN DE METALES POR FLAMA	METODO DE CALCULO, BASADO EN METODOS ESTANDAR 2340 B

Tabla 1. Ensayos aplicados a las muestras de lavados en el LDQA.

MUESTRAS	% HUMEDAD	%S BASE SECA	%S TAL COMO SE DETERMINA
MC-01 U-I (06) 114M	6.05	10.44	9.81
MC-02 U-I (02) 114M	7.02	9.88	9.19
MC-03 U-I (11) 114M	6.39	9.68	9.06
MC-04 U-II (02) 114M	8.77	8.67	7.91
MC-05 U-II (06) 114M	9.36	11.14	10.1
MC-06 U-II (11) 114M	6.46	12.40	11.6
MC-07 U-I (11) 88M	12.26	13.56	11.9
MC-08 U-II (02) 88M	16.63	12.11	10.1
MC-09 U-I (06) 60M	6.48	17	15.9
MC-10 U-II (11) 60M	18.98	13.08	10.6
MC-11 U-I (12) 60M	14.69	13.01	11.1
MC-12 U-I (06) BASE	13.02	10.98	9.55
MC-13 U-I (12) BASE	9.61	8.41	7.6
MC-14 U-II (06) BASE	3.69	4.43	4.27
MC-15 U-II (12)	12.52	10.21	8.93
MC-16 TAMBO I	7.37	7.37	7.01
MC-17 TAMBO II	10.60	10.60	8.82
MC-18 TAMBO III	14.1	14.1	13.5
MC-19 TAMBO IV	10.27	10.27	9.48
MC-20 TAMBO V	8.95	8.95	8.48

Tabla 2. Resultados de las muestras de ceniza en el LQC

MUESTRA	SODIO Na (mg/L)	POTASIO K (mg/L)	CALCIO Ca (mg/L)	MAGNESIO Mg (mg/L)	DUREZA TOTAL CALCULADA CaCO ₃ (mg/L)	SÍLICE SiO ₂	HIERRO Fe (mg/L)	MANGA- NESO Mn (mg/L)	NIQUEL Ni (mg/L)	VANADIO V (mg/L)
MC-01 U-I (06) 114M	3.03	11.89	4.47	7.93	43.83	1.62	16.63	0.15	7.75	5.86
MC-02 U-I (02) 114M	5.75	9.24	3.98	8.55	45.15	1.69	56.04	0.25	8.26	5.79
MC-03 U-I (11) 114M	2.25	13.1	3.91	9.16	47.45	1.78	18	0.14	9.74	8.33
MC-04 U-II (02) 114M	6.93	15.83	4.65	7.2	41.25	3.42	16.02	0.14	6.2	9.02
MC-05 U-II (06) 114M	12.25	23.79	3.11	5.46	30.26	2.81	23.04	0.26	6.34	9.62
MC-06 U-II (11) 114M	11.2	23.05	3.4	11.28	54.94	1.99	21.62	0.21	8.44	31.91
MC-07 U-I (11) 88M	2.26	9.89	2.1	0.41	6.95	0.31	15.4	0.08	10.36	17.72
MC-08 U-II (02) 88M	2.03	13.18	4.36	1.97	18.99	5.81	32.11	0.11	14.75	20.68
MC-09 U-I (06) 60M	<1	0.67	0.28	5.66	24.03	2.37	77.14	1.4	13.58	29.74
MC-10 U-II (11) 60M	1.32	13.87	4.86	0.81	15.48	5.12	27.16	0.09	15.93	20.43
MC-11 U-I (12) 60M	<1	8.7	6.71	3.54	31.34	0.89	31.4	0.17	12.98	26.91
MC-12 U-I (06) BASE	4.51	11.85	6.71	9.59	56.23	1.52	53.49	0.35	12.85	36.24
MC-13 U-I (12) BASE	12.36	26.75	2.98	10.11	49.07	1.34	22.37	0.23	8.43	32.91
MC-14 U-II (06) BASE	<1	0.33	4.72	5.82	35.76	1.57	145.63	0.64	12.53	9.97
MC-15 U-II (12)	1.59	3.51	10.76	6.35	53	1.98	27.2	0.2	6.52	6
MC-16 TAMBO I	1.03	0.96	16.46	8.43	75.8	1.15	36.58	0.84	10.24	9.24
MC-17 TAMBO II	0.88	0.23	9.38	7.97	56.23	3.48	127.8	0.64	13.37	32.07
MC-18 TAMBO III	<1	1.1	4.65	6.84	39.78	1.7	27.6	0.17	11.87	9.33
MC-19 TAMBO IV	<1	0.47	13.66	3.74	49.52	1.23	9.93	0.09	3.45	22.87
MC-20 TAMBO V	<1	1.63	5.37	9.29	51.67	2.42	37.84	0.16	10.55	36.43

Tabla 3. Resultados de las muestras de ceniza en el LDQA

Como se puede observar, la humedad de las muestras analizadas va desde 3.69% hasta 18.98%, mientras que el % de S va desde 4.43 a 17% en base seca.

Las muestras analizadas en el laboratorio de Química del agua (LDQA) presentaron los resultados de la tabla 3.

En ellos se puede observar la presencia de potasio, magnesio, níquel y vanadio. Estos resultados están de acuerdo con las características típicas del combustible utilizado (combustóleo) en la caldera para la generación de corriente eléctrica.

CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos, se observó desde el punto de vista químico, que el origen de los daños en la mayoría de los tiros de las chimeneas, están asociados con la combustión, es decir, con la ceniza que se genera en ese proceso en combinación con la humedad ambiental y el agua de lluvia. Dicha combinación produce acidez.

Los análisis presentados indican que la ceniza produce acidez debido principalmente al agua líquida de la lluvia y no necesariamente la humedad que lleva en sí esa ceniza o el medio ambiente.

La acidez en el agua de lavados es mayor cuando existe una concentración mayor de sulfatos, característico en los procesos de combustión con combustóleo pesado.

Se observó que, por las características físicas de la chimenea, los daños por acidez son mayores en la parte superior, lo cual se debe principalmente al efecto del agua pluvial sobre la ceniza y los sulfatos, ya que ésta parte de las chimeneas está más propensa a las condiciones mencionadas.

REFERENCIAS

1. Davila Bacares, M y Machado Arquez, A. (2020). *Estudio patológico de la chimenea de la unidad 2 de la Central Termoguajira, en el corregimiento de Mingueo - La Guajira*. Universidad Santo Tomás.
2. J.G. Barbosa, (2018) *Termodinámica para Ingenieros*, Patria, 2a reimpresión, México, 419 pp.
3. Martínez, E.; Díaz de Mera, Y. (2004). *Contaminación Atmosférica*. Universidad de Castilla. 4ta edición. España. 288 pp.
4. Hill, J.; Kolb, D. (1999). *Química para el nuevo milenio*. Prentice Hall. 8va edición. México. 704 pp.
5. García Arreola L, (2009), Neutralización del Trióxido de Azufre con Hidróxido de magnesio en la combustión de hidrocarburos pesados, *Tecnología, Ciencia Ed. (IMIQ)*, 137, Vol 2, 137-143 pag.