

Facultad de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

*Título: Modelación neuronal del consumo energético de los
molinos de cemento de la Empresa Cementos
Cienfuegos S.A.*

Autor: Manuel Ernesto Granado Rodríguez

Tutores: Dr. Julio R. Gómez Sarduy

Dr. José P. Monteagudo Yanes

Ing. José Luis Quiñones Ferreira

Año 52 de la Revolución

Cienfuegos 2010



Cementos Cienfuegos S.A.

El estudiante de Ingeniería Mecánica Manuel Ernesto Granado Rodríguez, de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, ha realizado satisfactoriamente el Trabajo de Diploma " Modelación neuronal del consumo energético de los molinos de cemento de la Empresa Cementos Cienfuegos S.A. ".Con este estudio se logra estimar pronósticos energéticos del accionamiento principal de los molinos de cemento para una producción determinada con un mínimo error de exactitud, donde la fábrica puede planificar una producción de cemento de acuerdo al plan energético asignado. También así mismo permite a la empresa encontrar las áreas de oportunidad con el fin de aumentar la producción utilizando la dosificación óptima por tipo de cemento para obtener mejores índices de consumo de energía eléctrica.

X

Ing. José Luis Quiñones Ferreira
Especialista Eléctrico

X

Lic. Benito López Turiño
Jefe de Mantenimiento

X

Ing. René Martínez
Gerente Cemento Despacho



Facultad de Ingeniería Mecánica.

Declaración de Autoridad.

Por este medio hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, como parte de la culminación de los estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, autorizando además que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial o total; y por tanto no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin la aprobación de la institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Tutor

Sistema de Documentación y Proyecto.
Nombre y Apellidos. Firma.

Pensamiento

*Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias,
haz cosas ordinarias, extraordinariamente bien.*

Jim Rohm

Dedicatoria:

❖ *A Dios por darme la oportunidad de lograr todas mis metas.*

❖ *A mis padres Ada Rodríguez Hautrive y Manuel Granado Barrero, gracias por confiar en mí y haberme enseñado a luchar con inteligencia y astucia, sin el apoyo de ustedes no lo hubiese logrado.*

❖ *A mi hermana Giselle Granado, por estar siempre al tanto de mis objetivos.*

❖ *A la memoria de mis abuelas Ada Hautrive y Delia Barrero, por guiarme siempre hacia el camino correcto.*

❖ *A mi novia Mailen Ruiz por brindarme su amor y cariño en todo momento.*

Agradecimientos:

- ❖ *A mi tutores Julio R. Gómez Sarduy y José P. Monteagudo Yanes por poner a mi disposición su ayuda y conocimientos.*
- ❖ *A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica que influyeron en mi formación académica en el transcurso de mi carrera.*
- ❖ *A los trabajadores de Cemento Cienfuegos S.A. que me guiaron y me acogieron durante mi estancia en la empresa.*
- ❖ *A mis compañeros de clase por estar juntos en los momentos de alegría y en los momentos difíciles.*
- ❖ *A todos los que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo.*

Resumen

En el siguiente trabajo se decidió trabajar en el desarrollo de modelos basados en el empleo de técnicas de Inteligencia Artificial, para simular, evaluar y optimizar el consumo de energía en los accionamientos principales del área de molinos de la empresa Cementos Cienfuegos, S.A.

Debido a que en el consumo energético de los molinos de cemento interviene una gran cantidad de variables operacionales, así como otras variables determinadas por el estado técnico del equipamiento y que son difíciles de cuantificar, se plantea modelarlo con Redes Neuronales Artificiales (RNA) para optimizar y predecir cuál será el consumo de energía por molino según la producción a realizar, a partir de los datos reales de producción, demanda, energía consumida y tiempo de trabajo, que se obtienen de los reportes de producción.

Se demuestra que los modelos obtenidos se pueden emplear en el pronóstico del consumo energético con fines de planificación así como que existe una dependencia entre consumo y dosificación para una producción determinada por lo que se establecen los valores óptimos de los porcentajes de materia prima para los cuales se espera mínimo consumo energético.

Se realiza además un análisis del impacto económico y ambiental que pudiera lograrse al aplicar los resultados arrojados por la modelación.

Índice

Introducción.....	1
Problema a resolver	2
Hipótesis	2
Objetivo General	2
Objetivos específicos	3
Estructura de la tesis.....	3
Capítulo I. Generalidades sobre el consumo energético en la industria cementera.....	5
1.1 Proceso de fabricación de cemento.....	5
1.2 Tipos de cemento.....	6
1.3 Principales países productores de cemento.	7
1.4 Consumo de energía en la Industria Cementera de América del Norte.	8
1.5 Industria del cemento en Cuba.....	9
1.5.1 Fabricas de cemento en Cuba.....	10
1.5.2 Principales portadores energéticos utilizados en las Fábricas de Cemento Nacionales.	11
1.5.3 Comportamiento de los índices de consumo de energía eléctrica por producción.....	13
1.6 Tipos de molinos de cemento utilizados en la Industria Cementera.....	15
1.6.1 Molinos de cemento de bolas de acero.	15
1.7 Tecnologías empleadas en la Industria Cementera para optimizar el consumo de energía eléctrica en los molinos de cemento.....	17
1.7.1 Molino de Cemento Horomill.....	17
1.8 Índices de consumo en los molinos de cemento en la empresa Cementos Cienfuegos S.A.	19
1.9 Conclusiones parciales.....	22

Capítulo II. Modelo neuronal de consumo energético de los molinos de cemento.....	23
2.1 Molinos de cemento de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.	23
2.2 Redes neuronales artificiales (RNA).....	26
2.3 Definiciones de una red neuronal.	26
2.4 Composición de las Redes Neuronales Artificiales.....	27
2.4.1 Conjunto de unidades de procesamiento.....	27
2.4.2 Funciones de salida.....	28
2.4.3 Ambiente.	29
2.5 Estructura de las redes neuronales.	29
2.6 Tipología de las RNA.....	30
2.6.1 Modelos.....	30
2.6.2 Topología.	31
2.7 Diseño y programación de una red neuronal.....	33
2.7.1 Ventajas que ofrecen las redes neuronales.....	33
2.7.2 Aprendizaje adaptativo.	34
2.7.3 Auto-organización.....	35
2.7.4 Tolerancia a fallos.	35
2.7.5 Operación en tiempo real.	36
2.7.6 Fácil inserción dentro de la tecnología existente.....	36
2.8 Modelación de las Redes Neuronales Artificiales.	37
2.8.1 Síntesis del trabajo desarrollado.	38
2.9 Arquitectura del Modelo Neuronal para obtener el consumo de energía del accionamiento principal de los molinos de cemento.....	38
2.10 Arquitectura RNA del molino de cemento 1.	39
2.11. Arquitectura RNA del molino de cemento 2.	39
2.12 Selección de la arquitectura de la RNA.	40
2.13 Entrenamiento de las RNAs.	42

2.14 Análisis post-entrenamiento.	45
2.15 Conclusiones Parciales.	48
Capítulo III: Análisis de los resultados.	49
3.1 Análisis estadístico de los errores para la RNA del Molino 1.	49
3.2 Análisis estadístico de los errores para la RNA del Molino 2.	51
3.3 Aplicación en pronóstico de los consumos energéticos de los molinos	52
3.4 Comportamiento de índice de consumo de los accionamientos principales del área de molinos.	56
3.5 Estimación de la dosificación para mínimo consumo energético. Caso de estudio Molino 1.	61
3.6 Impacto económico-ambiental.	64
3.7 Conclusiones parciales.	66
Conclusiones Generales.	68
Recomendaciones.	70
Referencias Bibliográficas.	71
Bibliografía.	73
Anexos.	76

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Para la generación de energía se depende generalmente de la utilización de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural); estos son extinguidos, contaminantes y están concentrados en pocas regiones de la tierra. Los niveles actuales de consumo amenazan a la humanidad, al rebasarse los límites de la capacidad del planeta para asimilar su impacto.

Las circunstancias ambientales que configuran los riesgos actuales derivados del cambio climático que ya ha comenzado a manifestarse de distintas formas, obligan a pensar en la sustitución acelerada de los combustibles fósiles para complementar el incremento constante en la eficiencia de su utilización, que viene produciéndose desde hace varias décadas, aunque no resulta suficiente para evitar los desastrosos efectos en marcha desencadenados por los niveles de contaminación ya alcanzados.

Resulta necesario pues, iniciar un proceso de sustitución acelerada de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía en paralelo con los aumentos de eficiencia que puedan lograrse ahora mediante las tecnologías más modernas; pero ello requiere vencer barreras de todo tipo (financieras, económicas, tecnológicas, conductuales, conceptuales, psicológicas, políticas, etc.) que se oponen a dicha sustitución y que hacen que los países en desarrollo no puedan acceder plenamente al uso eficiente de estas fuentes.

El país se ha trazado una política para el ahorro de energía llamada La Revolución Energética en el marco de la cual se han tomado un conjunto de medidas con vistas a minimizar el consumo energético en todos los sectores consumidores del país especialmente en el sector Industrial. Un aspecto importante es la utilización eficiente del equipamiento, que se comenzó en el sector doméstico pero que debe alcanzar la industria y los servicios y que por lo tanto todo lo que se haga para evaluar y mejorar la eficiencia con que se utiliza la energía contribuye al empeño de sustituir importaciones, mitigar el impacto

ambiental de la producción y uso de la energía y a la rentabilidad y competitividad de la empresa.

La industria del cemento se caracteriza en general por poseer un consumo energético considerable y en ocasiones poco racional. Dicho consumo está distribuido principalmente en los equipos de alto consumo como son los hornos de clínker y los molinos de cemento y crudo. Sin embargo, existen alternativas para reducir los consumos mediante enfoques sistemáticos de pronósticos, simuladores e optimizadores como son los programas de inteligencia artificial, que permiten la administración de la energía sin limitar la calidad y producción de cemento.

Problema a resolver

No existe un modelo que permita gestionar, simular y optimizar el consumo energético del accionamiento principal de los molinos de cemento de la empresa Cementos Cienfuegos S.A., para elevar la eficiencia energética, reducir el impacto ambiental y los costos energéticos incrementando la competitividad de la organización.

Hipótesis

Es posible mediante la utilización de herramientas de Inteligencia Artificial modelar el consumo de energía del accionamiento principal de los molinos de cemento de la empresa Cementos Cienfuegos S.A. para utilizarlo en el pronóstico y optimización de dicho consumo.

Objetivo General

Obtener una modelación neuronal de consumo de energía eléctrica del accionamiento principal de los molinos de la fábrica de Cemento Cienfuegos S.A., en función de parámetros operacionales en condiciones reales de explotación y el empleo de herramientas de Inteligencia Artificial.

Objetivos específicos

1-Realizar una búsqueda bibliográfica sobre la estructura de consumo en la Industria Cementera y el consumo de energía de los distintos tipos de molinos empleados.

2-Desarrollar y entrenar redes neuronales artificiales para estimar el consumo de energía del accionamiento principal de los molinos de la fábrica Cementos Cienfuegos SA.

3-Utilizar las redes obtenidas para pronosticar el comportamiento energético de los molinos para el año actual.

4-Aplicar técnicas de optimización por algoritmos genéticos para su uso racional.

Estructura de la tesis

Capítulo I. Generalidades sobre el consumo energético en la industria cementera.

Se describe a partir de la información obtenida de la búsqueda bibliográfica la estructura de consumo de portadores energéticos en la industria cementera a nivel global, nacional y local haciendo énfasis en el área de molinos y considerando las diferentes tecnologías empleadas para este propósito. En este capítulo se analiza el comportamiento energético de la planta de Cemento Cienfuegos SA que es objeto de estudio.

Capítulo II. Modelo neuronal de consumo energético de los molinos de cemento.

En este capítulo se describen los molinos existentes en la planta objeto de estudio. Se hace una breve descripción de las herramientas empleadas y la metodología seguida en la adquisición y procesamiento de datos, diseño y entrenamiento de las redes neuronales. Se desarrollan los modelos basados en RNA para el molino 1 y el molino 2 de la planta estudiada.

Capítulo III. Análisis de los Resultados.

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados y se validan los modelos obtenidos para su uso como un predictor de la energía para el pronóstico del consumo de esta área a partir de los datos del año en curso. Se optimiza su consumo mediante un algoritmo evolutivo.

CAPITULO I

CAPÍTULO I. GENERALIDADES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA INDUSTRIA CEMENTERA.

1.1 Proceso de fabricación de cemento.

Existe una gran variedad de cementos según la materia prima base y los procesos utilizados para producirlo, que se clasifican en procesos de vía seca y procesos de vía húmeda.

El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

1. Extracción y molienda de la materia prima
2. Homogeneización de la materia prima
3. Producción del Clínker
4. Molienda de cemento.

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el clínker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clínker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

El clínker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso y puzolana para finalmente obtener cemento.^[1]

1.2 Tipos de cemento.

Cemento Gris

El cemento es una mezcla de piedra caliza y arcilla, triturada y calcinada hasta el punto fundente, convertida en una escoria granulada llamada clínker que se muele con una pequeña proporción de yeso (sulfato de calcio) hasta quedar finamente pulverizada.

Es el aglutinante básico del hormigón y de muchos otros productos que se utilizan en la construcción, tales como: mosaicos, baldosas, bloques, asbestos cemento, tubos para acueducto y alcantarillado, etc.

Fue inventado en 1811 y patentizado en octubre de 1824 en Inglaterra. El término cemento Portland se empleó por primera vez en 1824 por el inglés Joseph Aspdin, fabricante de cemento, debido a su parecido con la piedra de Portland, que era muy utilizada para la construcción en ese país. El primer cemento Portland moderno, hecho de piedra caliza y arcilla o pizarras, calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después triturada, fue producido en Gran Bretaña en 1845. En aquella época el cemento se fabricaba en hornos verticales, esparciendo las materias primas sobre capas de coque a la que se prendía fuego. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880.

El cemento tiene diversas aplicaciones: para formar hormigón, pegar superficies de distintos materiales o para revestimiento de superficie a fin de protegerlas de la acción de sustancias químicas y de la intemperie.

Cemento Blanco

El cemento blanco como aglomerante es sustituto del cemento gris, aunque su uso específico responde a principios estéticos y de decorados, siendo su requerimiento principal el porciento de blancura que a su vez determina su categoría de calidad en el mercado mundial.^[2]

1.3 Principales países productores de cemento.

La mayor producción de cemento se produce en la actualidad en los países más poblados e industrializados, aunque también es importante la Industria Cementera en los países de menos desarrollo. Rusia, China, México y Estados Unidos son los mayores productores, pero Alemania, Francia, Italia, España y Brasil son también productores importantes. A continuación en la Tabla 1.1 se señalan los principales países productores de cemento en los años de 2007 a 2009. La producción de cemento mundial creció alrededor del 3.8 % en el 2007. La participación en este crecimiento de la producción de América se redujo al 12.9 % frente al 13.6 % que representaba en 2007 y el 13.3 % en 2008 respectivamente debido a la crisis mexicana que afectó a los países productores. La producción en este país se redujo en 2.2 millones de toneladas.^[3]

Tabla 1 1.Principales productores de cemento a nivel global.

País	2007	2008	2009
Estados Unidos	78415.0 Mt	78320.0 Mt	80818.0 Mt
México	29800.0 Mt	24200.0 Mt	27500.0 Mt
Brasil	25046.0 Mt	28200.0 Mt	34597.0 Mt
Alemania	33869.8 Mt	33249.7 Mt	31529.7 Mt
Francia	21965.7 Mt	19724.0 Mt	18337.0 Mt
Italia	31687.3 Mt	34019.3 Mt	33832.2 Mt
España	28367.4 Mt	26421.8 Mt	25366.8 Mt

1.4 Consumo de energía en la Industria Cementera de América del Norte.

En los países de América del norte (Estados Unidos, Canadá y México) el consumo de electricidad ha crecido de manera constante, aunque la producción y el uso de electricidad por tonelada de cemento producido han permanecido relativamente estables. Mientras el uso de electricidad de la industria del cemento es significativa comparada con otras industrias manufactureras, el combustible usado durante la calcinación de los insumos en el horno da cuenta del mayor consumo de energía en el proceso de fabricación del cemento; ello es un factor decisivo en el costo de la producción. Las plantas de EU han pasado gradualmente de hornos húmedos a los secos, que tienen más eficiencia energética y contaminan menos, mientras que casi todas las plantas mexicanas usan hornos secos.

El consumo de energía por tonelada producida se ha incrementado alrededor de 10 % en EU, aunque en México ha disminuido cerca de 20 % y alrededor de 12 % en Canadá. Esto, combinado con el aumento en las inversiones mexicanas en esta industria, ha conducido a que algunos expertos arguyan que EU se ha convertido hasta cierto punto en un refugio para la contaminación de la industria. El consumo total de energía se ha incrementado junto con la producción en los tres países, lo que ha neutralizado las ganancias en eficiencia de México y Canadá. El carbón es el combustible predominante empleado en Canadá y EU; ambos países usan también grandes cantidades de coque, y Canadá emplea montos considerables de gas natural.

El combustible fósil es el más usado en México, pero cada vez más se usa coque, petróleo y combustibles “alternativos”, lo cual está conduciendo a una mezcla más sucia de combustible.

Estas últimas categorías de combustible dieron cuenta de gran parte del incremento de combustible fósil de esa industria en los tres países. Los combustibles “alternativos” incluyen residuos peligrosos y no peligrosos; en

particular, las llantas desecho son una fuente de combustible importante en la industria del cemento.^[4]

1.5 Industria del cemento en Cuba.

La Industria del Cemento Portland en Cuba, como consecuencia del proceso revolucionario y el desarrollo industrial que el mismo conlleva, ha experimentado, en su capacidad productiva, una expansión considerable en los últimos años, ha sido de atención fundamental lograr los mayores rendimientos, elevar la productividad del trabajo (con la consiguiente disminución de los costos de producción), elevar el estado técnico de los equipos de esta industria, mejorando las condiciones y calidad del mantenimiento de los mismos, para obtener de ellos el máximo de eficiencia. El horno rotatorio es el equipo fundamental de una fábrica de cemento.

La industria del cemento necesita grandes cantidades de energía en todas sus formas, siendo ésta el principal componente del costo en la fabricación de cemento. En la industria del cemento pueden consumirse combustibles sólidos, como lignitos, hullas, turbas, carbones, etc., líquidos en los diferentes tipos de fuel, crudos, y los gaseosos dentro del cual el principal es el gas natural.

Como un resultado de la evolución de la tecnología de producción del cemento en la dirección de economizar combustible en hornos de gran tamaño, han surgido varios factores que afectan la marcha continuada del horno, fundamentalmente los revestimientos refractarios. De estos factores podemos señalar, como los más importantes, los dos que siguen:

- El efecto de los álcalis y sus compuestos en las zonas de precalentamiento y, también, en las zonas de mayor temperatura del horno.
- El aumento de las cargas térmicas y mecánicas por la disminución del área específica del horno en la relación m^2/t de clínker.^[2]

1.5.1 Fabricas de cemento en Cuba.

En Cuba se produce cemento en seis fábricas, con dos tipos de procesos: por vía húmeda y por vía seca. Actualmente las más estables en producción de cemento y clínker son Cienfuegos y Mariel, mientras tanto las otras trabajan irregularmente según la comercialización de cemento. Estas industrias se encuentran reflejadas en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Relación de las fábricas de cemento instaladas en cuba

Empresa	Ubicación	Tipo
Mártires de Artemisa	Artemisa, Habana	Vía Húmeda
René Arcay	Mariel, Habana	Vía Seca
Cementos Cienfuegos S.A.	Guabairo, Cienfuegos	Vía Seca
Siguaney	Siguaney, Sancti Spíritus	Vía Húmeda
26 de Julio	Nuevitas, Camagüey	Vía Húmeda
José Merceron	Santiago de Cuba	Vía Húmeda

Proceso de vía Húmeda

La alimentación al horno se produce en forma de una pasta con un grado de humedad comprendido entre el 30 y el 40 %. El horno necesita una zona adicional para efectuar la deshidratación, lo que hace que sean excesivamente largos para una producción dada. Asimismo, se requiere una adición extra de calor para evaporar el agua.

Proceso de vía seca

Existen numerosos procedimientos que aplican el sistema de vía seca. En todos ellos la alimentación llega al horno, o al sistema de precalentamiento, con una humedad residual inferior al 1%. El secado previo de la materia prima se efectúa en molienda, aprovechando normalmente gases de escape del horno. ^[5]

1.5.2 Principales portadores energéticos utilizados en las Fábricas de Cemento Nacionales.

En las fábricas de cemento los principales consumidores de energía eléctrica son los hornos y los molinos de cemento, teniendo más del 50 % del consumo general de una planta. En la Tabla 1.3 se puede observar la distribución por procesos de la energía eléctrica consumida en las fábricas de cemento.

Energía eléctrica:

- Molinos de Cemento.
- Hornos.
- Preparación de materias primas.
- Servicios.

Tabla 1.3 Distribución media en por ciento de la Energía Eléctrica consumida.

Proceso	%
Extracción, preparación de materias primas y transporte a fábrica	3
Pre homogeneización y molienda de crudo	18
Homogeneización y conjunto de horno	29
Molienda de cemento y acabado	24
Servicios generales y auxiliares	23
Iluminación	3

Crudo Cubano

En el período de 1992 a 2005 la industria del cemento comenzó a utilizar en sus plantas el diesel y el crudo cubano como sustituto del fuel oil.

La planta de Siguaney fue la precursora, siguiendo la de Nuevitas y luego la José Mercerón; no sería hasta el año 1996 que se logró tener a todas las instalaciones produciendo con este combustible.

Otros combustibles

Dentro de las instalaciones abordadas los combustibles utilizados son los siguientes:

En la producción directa del clínker:

- Fuel oil.
- Petcoke.

En las actividades de transportación y servicios:

- Gasolina.
- Diesel.

En la actualidad se está sustituyendo paulatinamente el uso de crudo cubano y fuel oil en los hornos de cemento de las fábricas del país por carbón de piedra (Petcoke) demostrando también ser una fuente de energía eficiente y de menor costo en el Mercado Internacional. ^[6]

En la Figura 1.1 se puede ver cómo está estructurado el consumo de los portadores energéticos en las industrias de cemento nacionales siendo los hornos y secadores los de mayor impacto en el consumo de energía trabajando con crudo cubano y petcoke, este último se importa de la República Bolivariana de Venezuela. Los otros grandes portadores están en la molienda de materia prima y cemento siendo estos accionados totalmente por motores eléctricos de grandes potencias

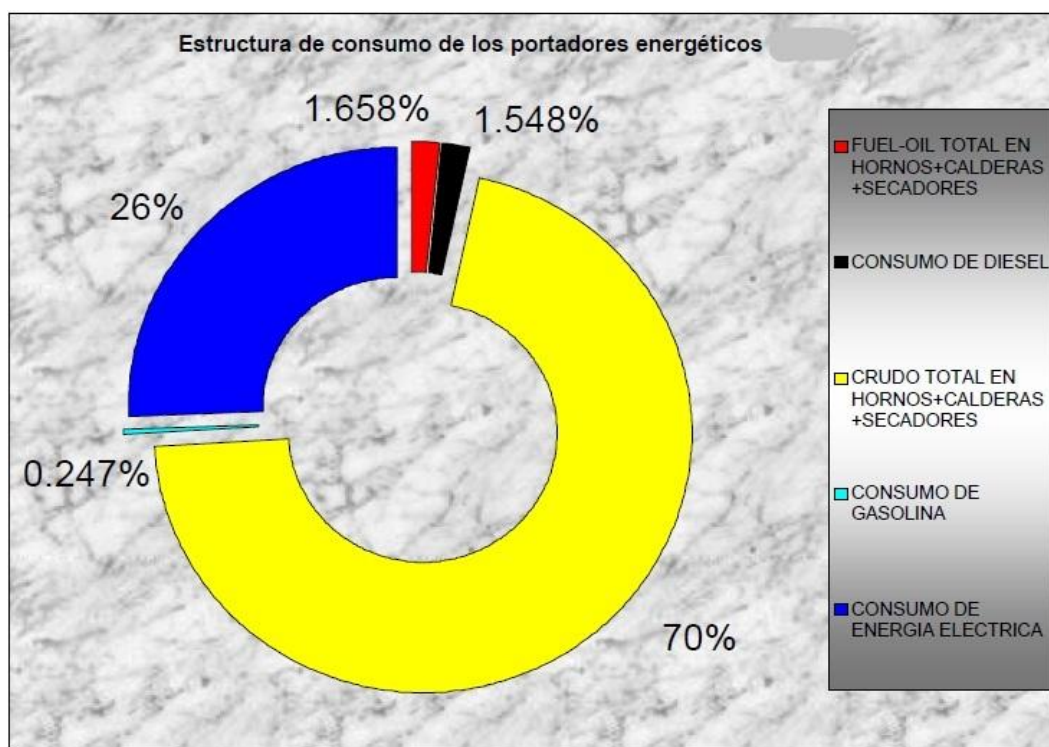


Figura 1.1 Estructura de consumo de los portadores energéticos en 2005

1.5.3 Comportamiento de los índices de consumo de energía eléctrica por producción.

La electricidad consumida por tonelada de cemento no presenta variaciones muy pronunciadas, aunque sostuvo un incremento constante desde 1999 hasta 2005 cuando comienza a disminuir, pero sin alcanzar aún los niveles de 1999. Estas variaciones tienen sus lógicos motivos, que por supuesto recaen directamente en la falta de energía a raíz de la política de la revolución energética implantada en el país, en los bajos niveles de producción que no han permitido aprovechar las capacidades instaladas y en que las industrias han tenido que operar con cargas fijas. En la medida que los niveles de producción de cemento alcancen niveles que ocupen un adecuado aprovechamiento de las capacidades instaladas.

En la Figura 1.2 se muestra claramente la tendencia en el aumento del índice de consumo de energía eléctrica por producción de cemento en los años de 2003 a

2006 teniendo su explicación en el bajo aprovechamiento de las capacidades instaladas y el consumo fijo que tiene la industria que es independiente en muchos casos al nivel de aprovechamiento no solo de las capacidades productivas instaladas, sino también del aprovechamiento de la capacidad de los propios equipos eléctricos.^[7]

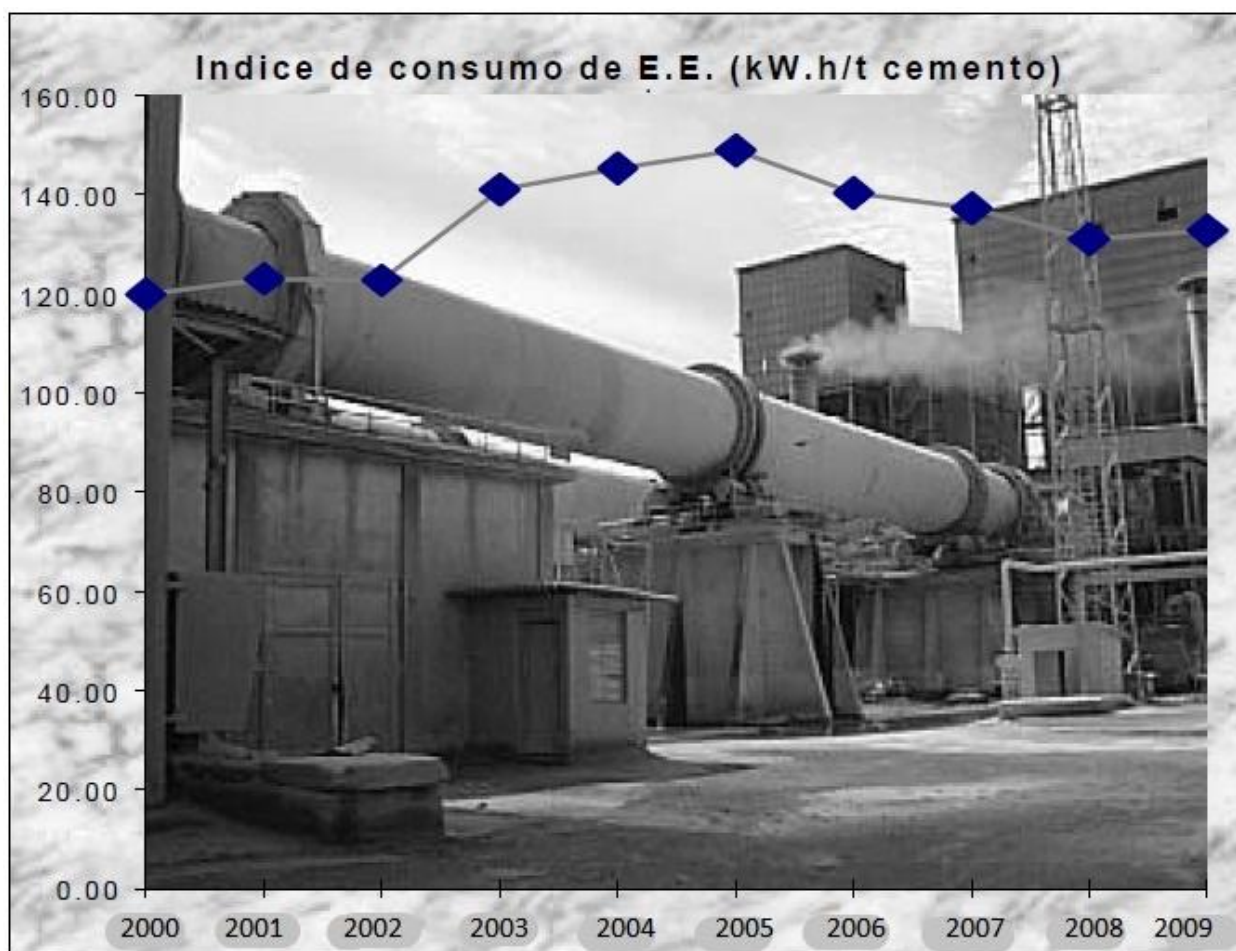


Figura 1.2. Índice de consumo de energía eléctrica por producción.

1.6 Tipos de molinos de cemento utilizados en la Industria Cementera.

En la industria del cemento existen varios tipos de tecnologías empleadas en molienda de cemento, los más usados son los molinos de bolas de aceros de tipo horizontal y vertical ver Figuras 1.3 y 1.4 siendo estos de gran facilidad en su mantenimiento y fiables en la producción de cemento ^[8]. En la empresa Cementos Cienfuegos existen dos molinos de bolas de acero de fabricación alemana compuestos por dos cámaras que almacenan 266 t de bolas. Los molinos están sujetos en cojinetes de deslizamiento para garantizar una menor fricción, accionados por motores eléctricos de potencia 2500 kW.

1.6.1 Molinos de cemento de bolas de acero.

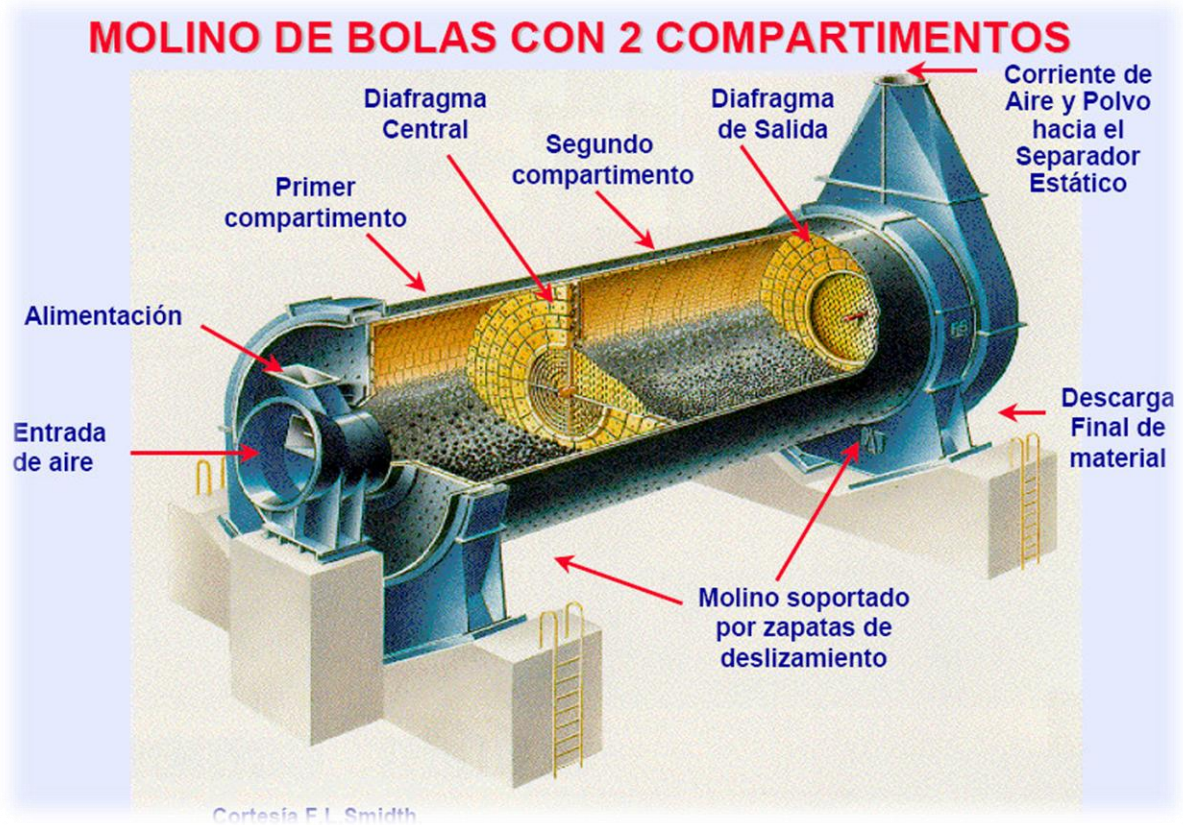


Figura 1.3. Esquema de molino horizontal.

Ventajas.

- No requiere de gases calientes para el secado de las materias primas (máximo 5%).
- Mantenimiento simplificado (menor demanda).
- Tecnología tradicional con trayectoria de experiencia.

Desventajas.

- Mayor consumo de energía eléctrica.
- Menor eficiencia de molienda (cerca del 80% de la energía utilizada se desaprovecha como energía térmica (calor), ruido y vibración).
- Diseño no compacto en la molienda, la separación y el secado.

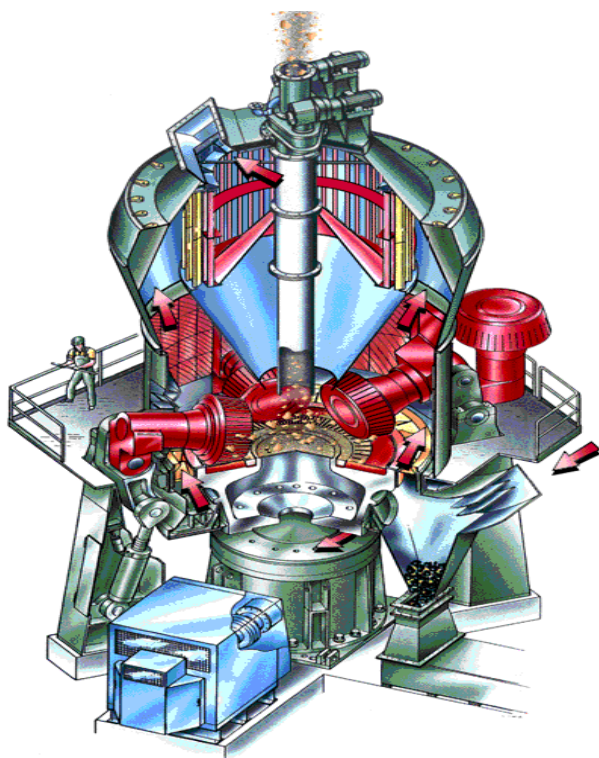


Figura 1.4 Esquema de molino vertical

Ventajas del molino de cemento vertical.

- Menor consumo de Energía Eléctrica
- Menor espacio para la instalación.
- Mayor capacidad de secado.
- Diseño compactado: Muele, Seca, Separa y trasporta al mismo tiempo.
- Mayor eficiencia de modulación.

Desventajas del molino de cemento vertical.

- Requiere de gases calientes para el secado de las materias primas.
- Mayor desgaste de componentes de molienda: Mesa, Masas molidoras
- Mayor nivel de vibración.

1.7 Tecnologías empleadas en la Industria Cementera para optimizar el consumo de energía eléctrica en los molinos de cemento.

La tecnología de molienda de cemento Horomill figura 1.5 es un caso de éxito en el ahorro de energía eléctrica. La gran ventaja del Horomill con respecto a las otras tecnologías es el aprovechamiento del mayor contacto de su rodillo horizontal con la materia prima. La tecnología Horomill se complementa con un separador de partículas de última generación desarrollado por el mismo fabricante a la medida del molino, haciéndolo el sistema más eficiente.^[9]

1.7.1 Molino de Cemento Horomill.

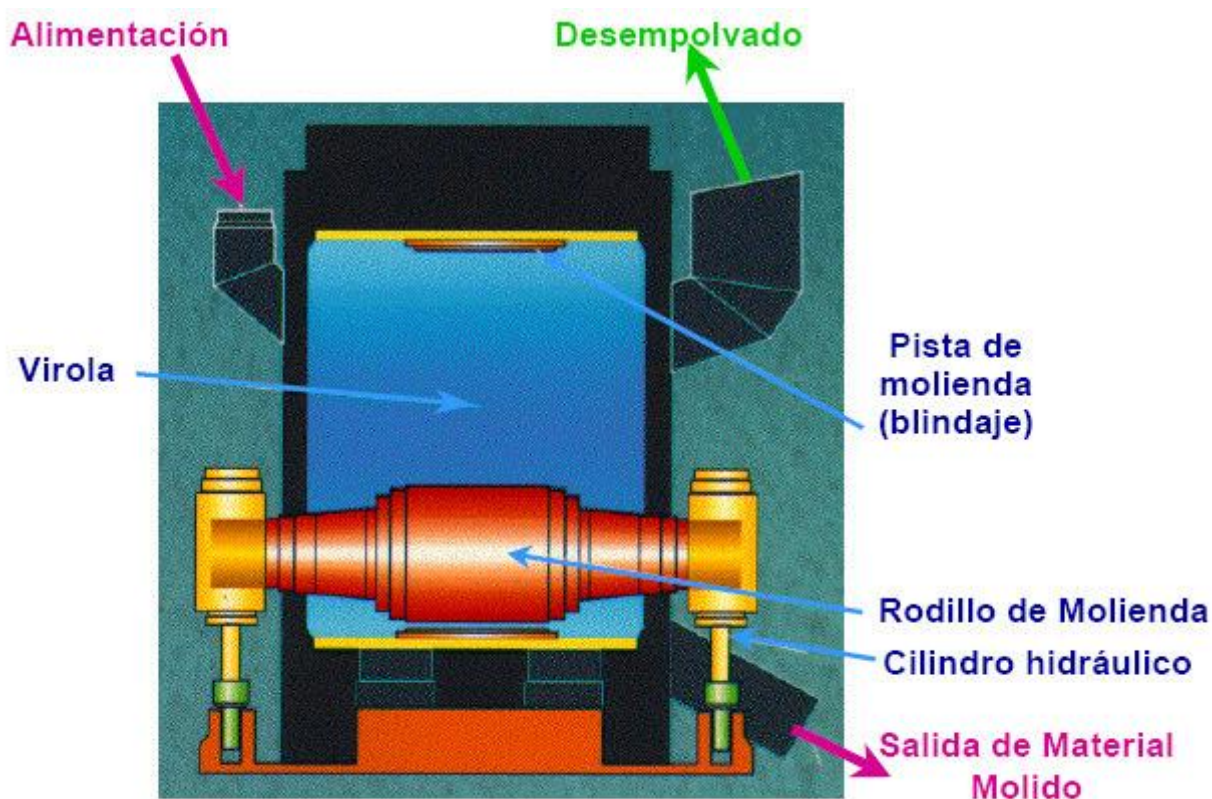


Figura 1.5. Esquema de trabajo del molino de cemento horomill.

Ventajas.

- Menor consumo de energía eléctrica.
- Menor espacio para la instalación.
- Menor potencia instalada en kW.
- No requiere inyección de agua para la estabilización de cama de material.
- Alimentación al Separador por ambos extremos del molino.
- Velocidad de Rotación Menor a la Velocidad Crítica del Molino.

Desventajas.

- Tecnología Innovadora con Menor Trayectoria de Experiencia.
- Requiere de Gases Calientes para el Secado de la Materia Prima.
- Requiere de Mantenimiento Calificado.
- Mayor Costo de Equipo.

Se puede observar en la Tabla 1.4 los ahorros de consumo de energía con la tecnología de molienda Horomill con respecto al tradicional molino de bolas. ^[9]

Tabla 1.4 Ahorros de consumo de energía con tecnología horomill.

Potencia instalada, kW	Molino Horomill	Molino de Bolas
Molino	2300	3520
Separador	200	250
Ventilador del Molino	650	37
Total	3150	3807
Componente, kWh/t	Molino Horomill	Molino de Bolas
Molino	23.41	43.8
Separador	0.7	2.14
Ventilador del Molino	5.53	2.0
Auxiliares	3.81	2.65
Total	33.5	50.6
% ahorro de energía	34%	

1.8 Índices de consumo en los molinos de cemento en la empresa Cementos Cienfuegos S.A.

En la empresa Cementos Cienfuegos S.A. los índices de consumo de energía eléctrica en el año 2009 estuvieron acorde al plan a asignado por la industria, como se puede ver en la Figura 1.6 los molinos de cemento tiene un peso de un 23 % del consumo general de la empresa lo que conlleva a la iniciativa de realizar un estudio para pronosticar y optimizar dicho consumo sin que se vea afectada la producción de cemento.

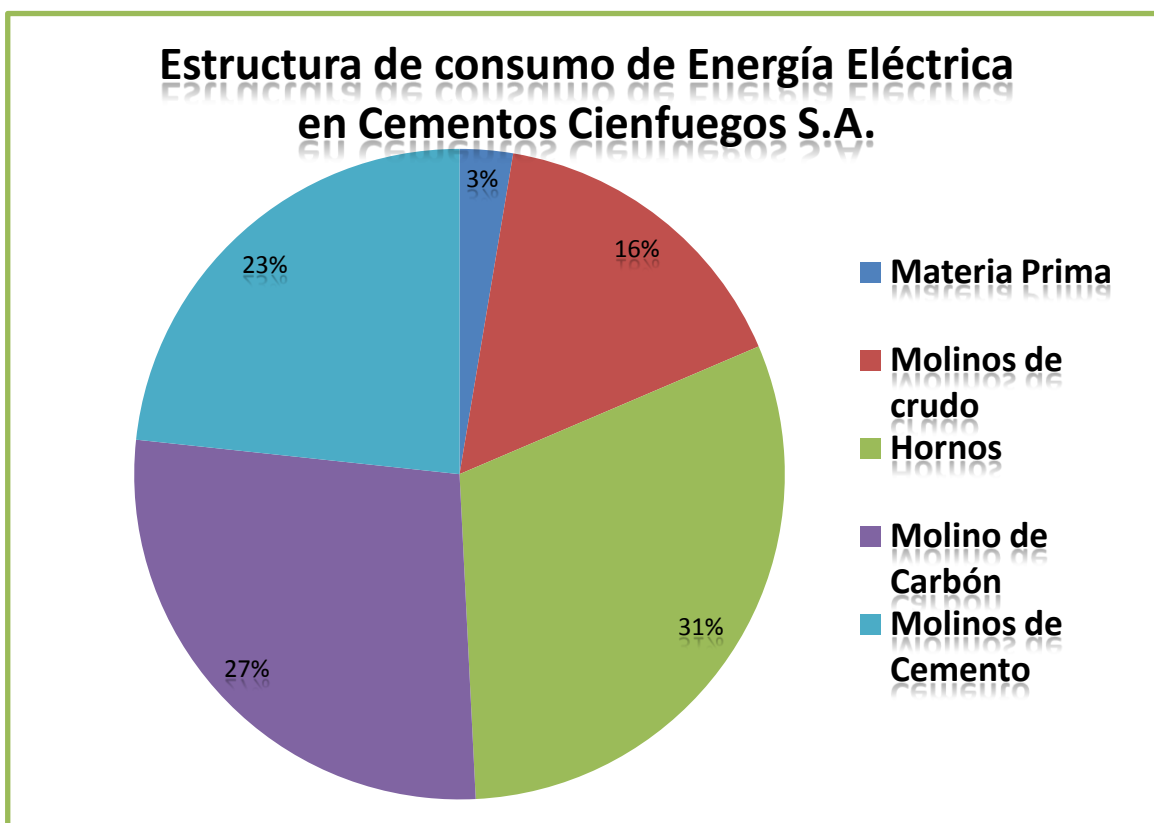


Figura 1.6 Estructura de consumo de energía eléctrica en Cemento Cienfuegos S.A. en 2009.

Mediante la información mostrada en la figuras 1.7 y 1.8 podemos ver los índices de consumo de energía eléctrica en los molinos de cemento de bolas instalados en la empresa Cementos Cienfuegos S.A en los años 2008 y 2009. Esta información no incluye el trabajo en horario pico, ya que en este horario no se operan los molinos como política para no elevar el consumo de la provincia. Se puede apreciar en la Figura 1.8 que en el año 2008 el molino de cemento 2 se mantuvo siempre con un alto índice de consumo de energía debido a su bajo rendimiento causado por tupiciones en los conductos de las cámaras, carga de bolas mal balanceadas, fallos de alimentación entre otras, ya para el año 2009 se efectuó una remodelación dentro de las cámaras del molino 2 como el cambio de blindaje y el empleo del intensificador de molienda variocen 3000. En el Anexo 7 se muestran los datos correspondientes a los índices de energía eléctrica de los dos molinos de cemento en los años correspondientes.

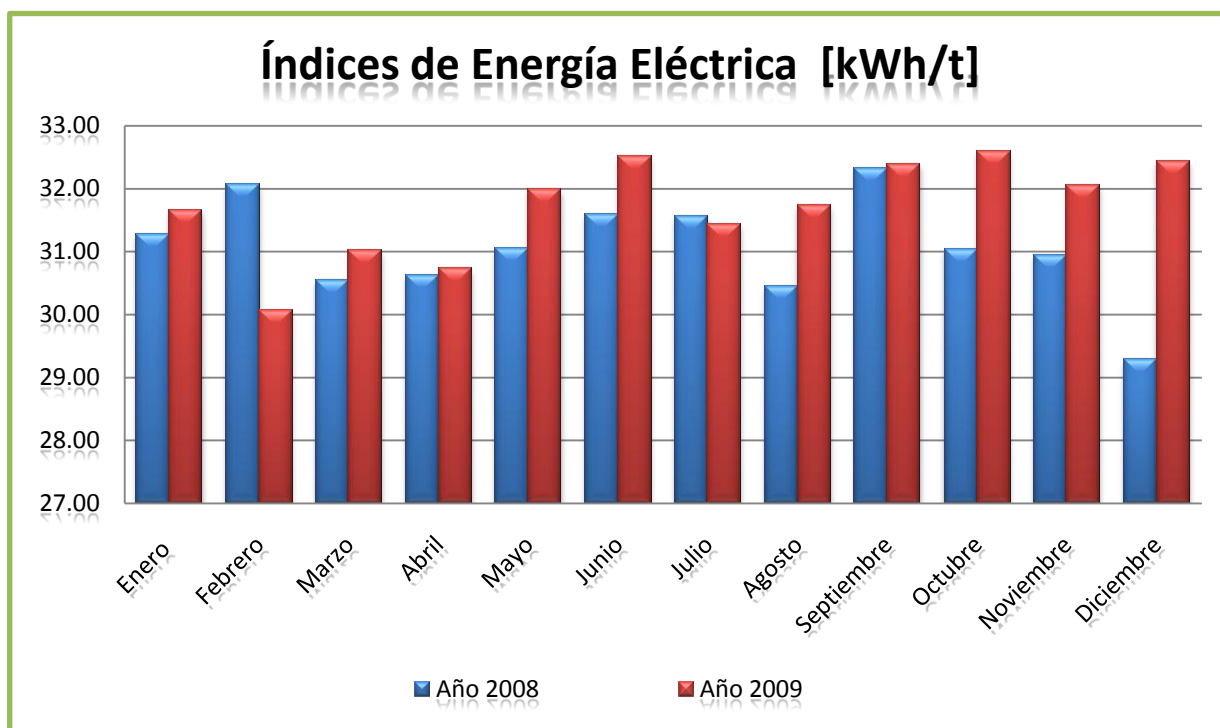


Figura 1.7 Molino de cemento 1.

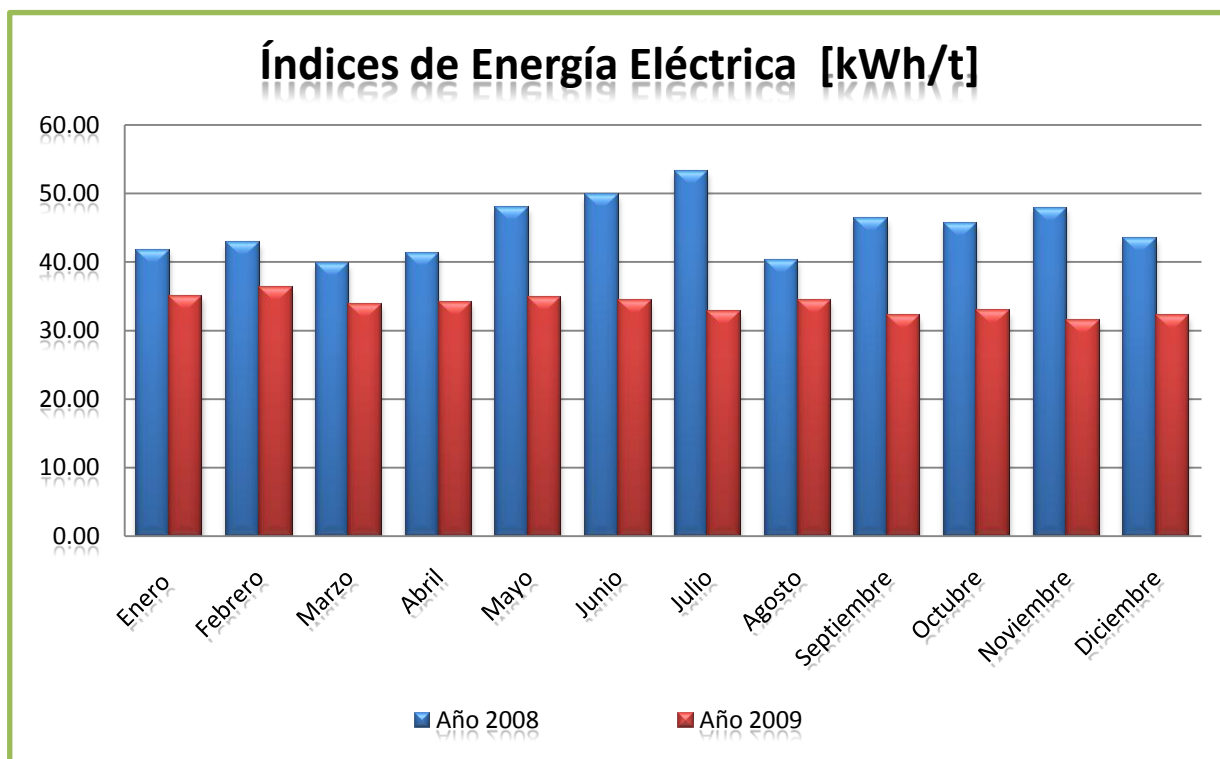


Figura 1.8 Molino de cemento 2.

1.9 Conclusiones parciales.

- La industria cementera es alta consumidora de energía, y en la industria cementera cubana la electricidad representa el 26% aproximadamente del consumo energético.
- El estudio del estado del arte en la producción de cemento permite apreciar que existen diferentes tecnologías para los molinos de cemento, alguna de las cuales son más eficientes energéticamente que la utilizada en la fábrica objeto de estudio.
- En la fábrica de Cemento Cienfuegos S.A. los mayores consumidores de energía son hornos, molinos de crudo y molinos de cemento. Estos últimos representan el 23% de la energía eléctrica consumida por la planta.

CAPITULO II

CAPÍTULO II. MODELO NEURONAL DE CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS MOLINOS DE CEMENTO.

2.1 Molinos de cemento de la empresa Cementos Cienfuegos S.A.

En la molienda de cemento, en Cementos Cienfuegos S.A. se consume un 23 % de la energía eléctrica suministrada a la planta. La energía eléctrica en la fabricación de cemento se consume casi exclusivamente en el accionamiento de motores.

Los molinos utilizados en la molienda de cemento son del tipo tubular combinados en dos cámaras con elevador de cangilones y separador dinámico, formando un circuito cerrado con una capacidad de 110 t/h para la producción de cemento PP-250 y 100 t/h para la producción de cemento P-350.

La trituración del material en estos molinos se efectúa mediante el impacto, fricción y compresión entre bolas y blindajes. La carga de bolas de los molinos puede variar dependiendo de las cualidades y demás características del material a emplear.^[10]

La molienda se realiza en los molinos de cemento, se puede observar en la Figura 2.1. El esquema general del proceso donde el material triturado es elevado por un elevador de cangilones, a un separador centrífugo, que mediante fuerza centrífuga separa los granos de mayor tamaño, retornándolos a la entrada del molino para someterse a una nueva trituración. Una corriente de aire que circula en el interior del separador dinámico arrastra las fracciones finas y las distribuye a los ciclones del separador.

La humedad del material a la entrada debe ser 1% y la granulometría de 40mm como máximo para que garantice una fineza menor al 10% y un Blaine entre 2800 y 3100 cm²/g.

Para garantizar una molienda de cemento con óptima calidad depende fundamentalmente de los siguientes valores:

- Carga de bolas del molino.
- Ajuste del separador.
- Dureza del material al moler.
- Tiempo de molienda del material.

Datos técnicos de los molinos:

- Velocidad de rotación de los molinos: 15,8 rpm.
- Velocidad del motor: 720 rpm.
- Potencia del Motor: 2500 kW.
- Cantidad de pasos: 90 t/h.
- Diámetro: 4 m.
- Longitud: 12 m.
- Diámetro efectivo: 3,84 m.
- Longitud efectiva: 11,29 m.

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo productivo del área de molinos como se presenta en la pantalla del panel en la sala de control. En esta Figura se puede apreciar la información de flujos de materiales y otras informaciones necesarias para la operación del área.

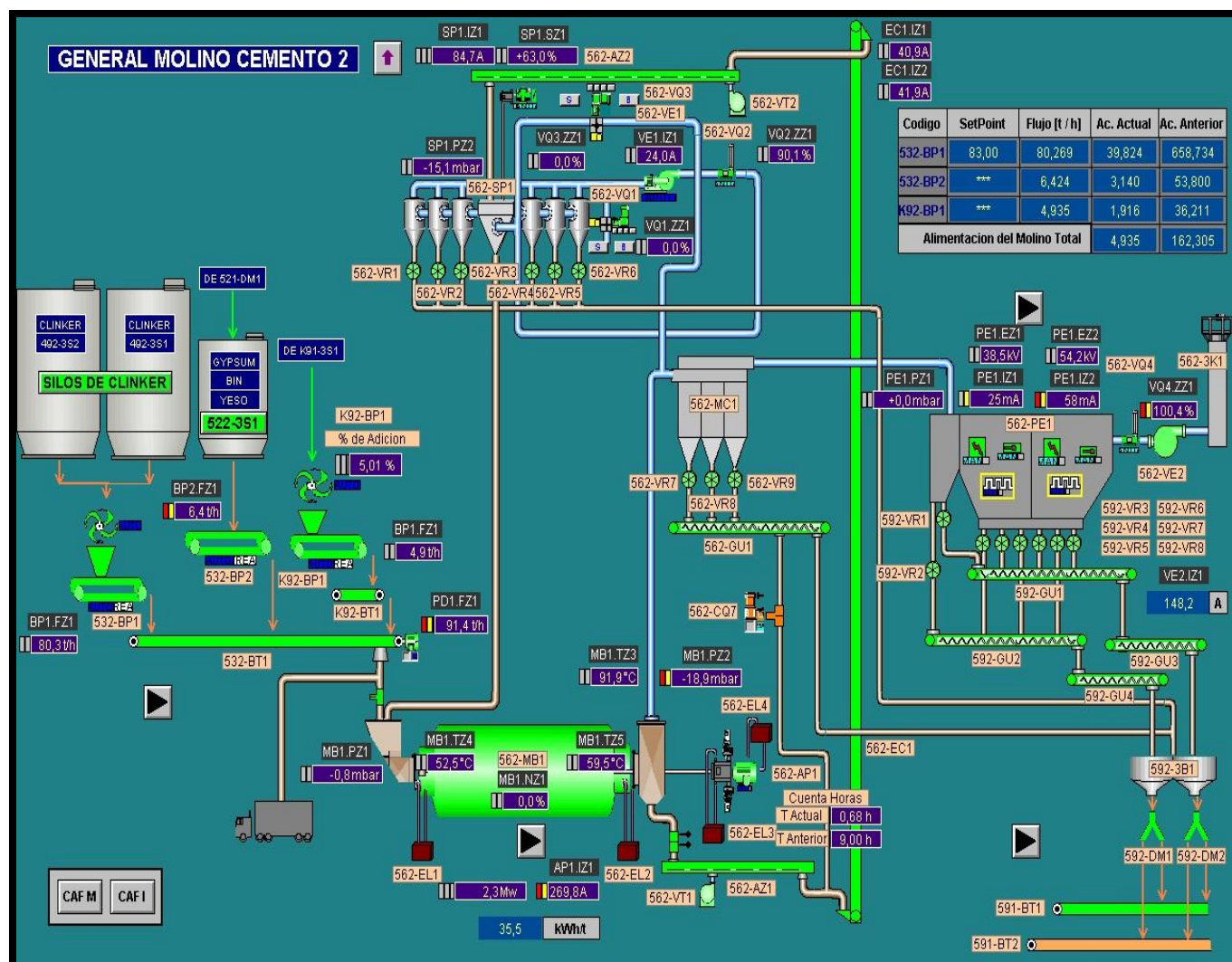


Figura 2.1. Esquema General del flujo del Molino de cemento 2.

Como el objetivo de este trabajo es modelar el consumo de energía del accionamiento principal de los molinos en función de variables operacionales disponibles como son la dosificación, producción y tiempo de trabajo, se decide desarrollar una red de neuronas artificiales para resolver este problema atendiendo a la potencia de esta herramienta para “aprender” un comportamiento a partir de datos experimentales. A continuación se hace una breve descripción de estas herramientas para una mejor comprensión del trabajo desarrollado.

2.2 Redes neuronales artificiales (RNA).

Las redes de neuronas artificiales (denominadas habitualmente como RNA o en inglés como ANN) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas en una red que colabora para producir un estímulo de salida. En inteligencia Artificial es frecuente referirse a ellas como redes de neuronas o redes neuronales.

Las características de las RNA las hacen bastante apropiadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado. También se pueden utilizar cuando no existen modelos matemáticos precisos o algoritmos con complejidad razonable.

Las redes neuronales artificiales son una potente herramienta que puede ser utilizada en la interpretación matemática de sistemas. Su trabajo es fundamentado sobre modelos estocásticos que permiten resolver matemáticamente un problema con un alto grado de complejidad de manera sencilla, pues el sistema es interpretado como una caja negra y el modelo obtenido será una función del comportamiento de las variables de entrada y salida del sistema o componente en estudio.^[11]

2.3 Definiciones de una red neuronal.

Existen numerosas formas de definir a las redes neuronales; desde las definiciones cortas y genéricas hasta las que intentan explicar más detalladamente qué son las redes neuronales. Por ejemplo:

- 1) Una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos.
- 2) Un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles.
- 3) Un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos simples, elementos de procesos muy interconectados, los cuales procesan

información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas.

- 4) Redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico.^[12]

2.4 Composición de las Redes Neuronales Artificiales.

Los ocho componentes principales del funcionamiento de las Redes Neuronales Artificiales son:

- 1) Un conjunto de unidades de procesamiento (neuronas);
- 2) Una función de salida para cada unidad;
- 3) Un conjunto de conexiones (patrón de conectividad);
- 4) Un conjunto de reglas de propagación para propagar las señales de salida a través de la RNA.
- 5) Una regla de combinación;
- 6) Una regla de activación;
- 7) Una regla de modificación;
- 8) Un ambiente en el cual opera la RNA.

2.4.1 Conjunto de unidades de procesamiento.

Tres tipos de unidades:

- Unidades de entradas, reciben señales del ambiente
- Unidades de salida, transmiten las señales fuera de la RNA
- Unidades ocultas, sólo reciben señales de unidades que pertenecen a la RNA.

En una red neuronal cada neurona recibe una serie de entradas a través de interconexiones y emite una salida. Esta salida viene dada por tres funciones.

2.4.2 Funciones de salida.

1. Una función de propagación (también conocida como función de excitación), que por lo general consiste en la sumatoria de cada entrada multiplicada por el peso de su interconexión (valor neto). Si el peso es positivo, la conexión se denomina excitatoria; si es negativo, se denomina inhibitoria.
2. Una función de activación, que modifica a la anterior. Puede no existir, siendo en este caso la salida la misma función de propagación.
3. Una función de transferencia, que se aplica al valor devuelto por la función de activación. Se utiliza para acotar la salida de la neurona y generalmente viene dada por la interpretación que queramos darle a dichas salidas. Algunas de las más utilizadas son la función sigmoidea (para obtener valores en el intervalo $[0,1]$ y la tangente hiperbólica (para obtener valores en el intervalo $[-1,1]$).

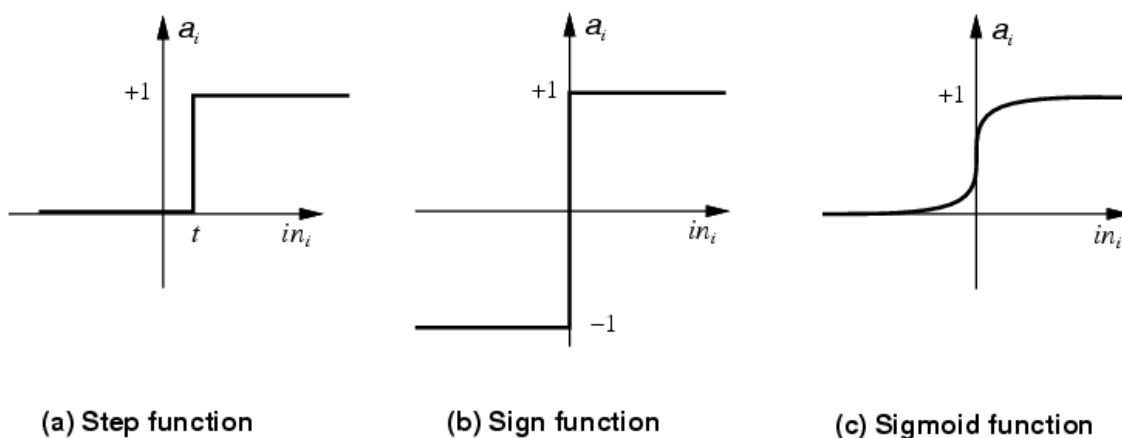


Figura 2.2: Diferentes funciones de salida.

2.4.3 Ambiente.

Provee las señales a las unidades de entrada. Las señales de entrada pueden ser discretas o continuas, constantes o dependientes del tiempo, y determinísticas o estocásticas.

A continuación se puede ver en la Figura 2.3, un esquema de una red neuronal:

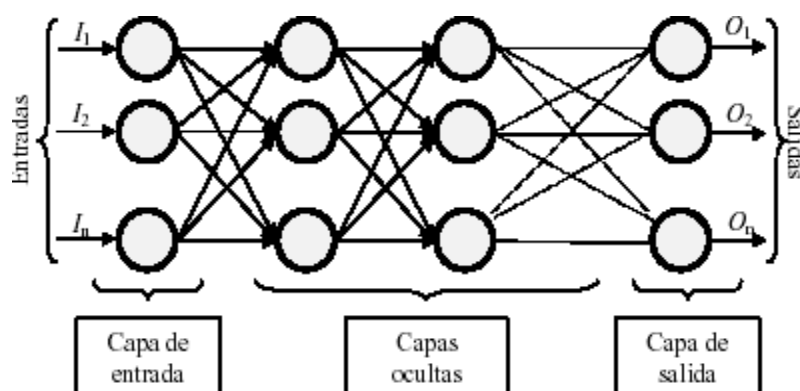


Figura 2.3: Esquema de una red neuronal

La misma está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en tres capas (esto último puede variar). Los datos ingresan por medio de la "capa de entrada", pasan a través de la "capa oculta" y salen por la "capa de salida". Cabe mencionar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas.^[12]

2.5 Estructura de las redes neuronales.

La mayoría de los científicos coinciden en que una RNA es muy diferente en términos de estructura a un cerebro animal. Al igual que el cerebro, una RNA se compone de un conjunto masivamente paralelo de unidades de proceso muy simples y es en las conexiones entre estas unidades donde reside la inteligencia de la red. Sin embargo, en términos de escala, un cerebro es muchísimo mayor que cualquier RNA creada hasta la actualidad, y las neuronas artificiales también son más simples que su contrapartida animal.

Biológicamente, un cerebro aprende mediante la reorganización de las conexiones sinápticas entre las neuronas que lo componen. De la misma manera, las RNA tienen un gran número de procesadores virtuales interconectados que de forma simplificada simulan la funcionalidad de las neuronas biológicas. En esta simulación, la reorganización de las conexiones sinápticas biológicas se modela mediante un mecanismo de pesos, que son ajustados durante la fase de aprendizaje. En una RNA entrenada, el conjunto de los pesos determina el conocimiento de esa RNA y tiene la propiedad de resolver el problema para el que la RNA ha sido entrenada.

Por otra parte, en una RNA, además de los pesos y las conexiones, cada neurona tiene asociada una función matemática denominada función de transferencia. Dicha función genera la señal de salida de la neurona a partir de las señales de entrada. La entrada de la función es la suma de todas las señales de entrada por el peso asociado a la conexión de entrada de la señal. Algunos ejemplos de funciones de transferencia son:

- La función escalón de Heaviside.
- La lineal o mixta.
- La sigmoidea.
- La función gaussiana,

Recordando que la función de transferencia es la relación entre la señal de salida y la entrada.^[12]

2.6 Tipología de las RNA.

2.6.1 Modelos.

Existe una serie de modelos que aparecen en la mayoría de estudios académicos y la bibliografía especializada.^[13]

- Perceptrón
- Adaline

- Perceptrón multicapa
- Memorias asociativas
- Máquina de Boltzmann
- Máquina de Cauchy
- Propagación hacia atrás (backpropagation)
- Redes de Elman
- Redes de Hopfield
- Red de contra propagación
- Redes de neuronas de base radial
- Redes de neuronas de aprendizaje competitivo
- Mapas Autoorganizados (RNA)
- Crecimiento dinámico de células
- Gas Neuronal Creciente
- Redes ART (Adaptive Resonance Theory)

2.6.2 Topología.

Una primera clasificación de las redes de neuronas artificiales que se suele hacer es en función del patrón de conexiones que presenta. Así se definen tres tipos básicos de redes:

- Dos tipos de **redes de propagación hacia delante** o acíclicas en las que todas las señales van desde la capa de entrada hacia la salida sin existir ciclos, ni conexiones entre neuronas de la misma capa.
 - **Monocapa.** Ejemplos: perceptrón, Adaline.
 - **Multicapa.** Ejemplos: perceptrón multicapa.
- Las **redes recurrentes** que presentan al menos un ciclo cerrado de activación neuronal. Ejemplos: Elman, Hopfield, máquina de Boltzmann.

La segunda clasificación que se suele hacer es en función del tipo de aprendizaje de que es capaz (si necesita o no un conjunto de entrenamiento supervisado). Para cada tipo de aprendizaje encontramos varios modelos propuestos por diferentes autores:

- Aprendizaje supervisado: necesitan un conjunto de datos de entrada previamente clasificado o cuya respuesta objetivo se conoce. Ejemplos de este tipo de redes son: el perceptrón simple, la red Adaline, el perceptrón multicapa y la memoria asociativa bidireccional.
- Aprendizaje no supervisado o auto-organizado: no necesitan de tal conjunto previo. Ejemplos de este tipo de redes son: las memorias asociativas, las redes de Hopfield, la máquina de Bolzman y la máquina de Cauchy, las redes de aprendizaje competitivo, las redes de Kohonen o mapas autoorganizados y las redes de resonancia adaptativa (ART)
- Redes híbridas: son un enfoque mixto en el que se utiliza una función de mejora para facilitar la convergencia. Un ejemplo de este último tipo son las redes de base radial.
- Aprendizaje reforzado: se sitúa a medio camino entre el supervisado y el autoorganizado.

También se pueden clasificar las RNAs según sean capaces de procesar información de distinto tipo en:

- Redes analógicas: procesan datos de entrada con valores continuos y, habitualmente, acotados. Ejemplos de este tipo de redes son: Hopfield, Kohonen y las redes de aprendizaje competitivo.
- Redes discretas: procesan datos de entrada de naturaleza discreta; habitualmente valores lógicos booleanos. Ejemplos de este segundo tipo de redes son: las máquinas de Bolzman y Cauchy, y la red discreta de Hopfield.[12]

2.7 Diseño y programación de una red neuronal.

Con un paradigma convencional de programación en ingeniería del software, el objetivo del programador es modelar matemáticamente (con distintos grados de formalismo) el problema en cuestión y posteriormente formular una solución (programa) mediante un algoritmo codificado que tenga una serie de propiedades que permitan resolver dicho problema. En contraposición, la aproximación basada en las RNA parte de un conjunto de datos de entrada suficientemente significativo y el objetivo es conseguir que la red aprenda automáticamente las propiedades deseadas. En este sentido, el diseño de la red tiene menos que ver con cuestiones como los flujos de datos y la detección de condiciones, y más que ver con cuestiones tales como la selección del modelo de red, la de las variables a incorporar y el pre-procesamiento de la información que formará el conjunto de entrenamiento. Así mismo, el proceso por el que los parámetros de la red se adecuan a la resolución de cada problema no se denomina genéricamente programación sino que se suele denominar entrenamiento.^[15]

2.7.1 Ventajas que ofrecen las redes neuronales

Debido a su constitución y a sus fundamentos, las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características semejantes a las del cerebro. Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas y que este tipo de tecnología se esté aplicando en múltiples áreas. Entre las ventajas se incluyen:

- **Aprendizaje Adaptativo:** capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial.
- **Auto-organización:** una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante una etapa de aprendizaje.
- **Tolerancia a fallos:** la destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo un gran daño.

- **Operación en tiempo real:** los cálculos neuronales pueden ser realizados en paralelo; para esto se diseñan y fabrican máquinas con hardware especial para obtener esta capacidad.
- **Fácil inserción dentro de la tecnología existente:** se pueden obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilitará la integración modular en los sistemas existentes.^[15]

2.7.2 Aprendizaje adaptativo.

La capacidad de aprendizaje adaptativo es una de las características más atractivas de redes neuronales. Esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos. Como las redes neuronales pueden aprender a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamientos, no es necesario elaborar modelos a priori ni necesidad de especificar funciones de distribución de probabilidad.

Las redes neuronales son sistemas dinámicos auto-adaptativos. Son adaptables debido a la capacidad de auto-ajuste de los elementos procesales (neuronas) que componen el sistema. Son dinámicos, pues son capaces de estar constantemente cambiando para adaptarse a las nuevas condiciones.

En el proceso de aprendizaje, los enlaces ponderados de las neuronas se ajustan de manera que se obtengan ciertos resultados específicos. Una red neuronal no necesita un algoritmo para resolver un problema, ya que ella puede generar su propia distribución de pesos en los enlaces mediante el aprendizaje. También existen redes que continúan aprendiendo a lo largo de su vida, después de completado su período de entrenamiento.

La función del diseñador es únicamente la obtención de la arquitectura apropiada. No es problema del diseñador el cómo la red aprenderá a discriminar. Sin embargo, sí es necesario que desarrolle un buen algoritmo de aprendizaje que le proporcione a la red la capacidad de discriminar, mediante un entrenamiento con patrones.^[15]

2.7.3 Auto-organización.

Las redes neuronales emplean su capacidad de aprendizaje adaptativo para auto-organizar la información que reciben durante el aprendizaje y/o la operación. Mientras que el aprendizaje es la modificación de cada elemento procesal, la autoorganización consiste en la modificación de la red neuronal completa para llevar a cabo un objetivo específico.

Cuando las redes neuronales se usan para reconocer ciertas clases de patrones, ellas auto-organizan la información usada. Por ejemplo, la red llamada backpropagation, creará su propia representación característica, mediante la cual puede reconocer ciertos patrones.

Esta auto-organización provoca la generalización: facultad de las redes neuronales de responder apropiadamente cuando se les presentan datos o situaciones a las que no había sido expuesta anteriormente. El sistema puede generalizar la entrada para obtener una respuesta. Esta característica es muy importante cuando se tiene que solucionar problemas en los cuales la información de entrada no es muy clara; además permite que el sistema dé una solución, incluso cuando la información de entrada está especificada de forma incompleta.

2.7.4 Tolerancia a fallos.

Las redes neuronales fueron los primeros métodos computacionales con la capacidad inherente de tolerancia a fallos. Comparados con los sistemas computacionales tradicionales, los cuales pierden su funcionalidad cuando sufren un pequeño error de memoria, en las redes neuronales, si se produce un fallo en un número no muy grande de neuronas y aunque el comportamiento del sistema se ve influenciado, no sufre una caída repentina.

Hay dos aspectos distintos respecto a la tolerancia a fallos:

a) Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos. Esta es una tolerancia a fallos respecto a los datos.

b) Las redes pueden seguir realizando su función (con cierta degradación) aunque se destruya parte de la red.

La razón por la que las redes neuronales son tolerantes a los fallos es que tienen su información distribuida en las conexiones entre neuronas, existiendo cierto grado de redundancia en este tipo de almacenamiento. La mayoría de los ordenadores algorítmicos y sistemas de recuperación de datos almacenan cada pieza de información en un espacio único, localizado y direccionable. En cambio, las redes neuronales almacenan información no localizada. Por lo tanto, la mayoría de las interconexiones entre los nodos de la red tendrán sus valores en función de los estímulos recibidos, y se generará un patrón de salida que represente la información almacenada. ^[15]

2.7.5 Operación en tiempo real.

Una de las mayores prioridades, casi en la totalidad de las áreas de aplicación, es la necesidad de realizar procesos con datos de forma muy rápida. Las redes neuronales se adaptan bien a esto debido a su implementación paralela. Para que la mayoría de las redes puedan operar en un entorno de tiempo real, la necesidad de cambio en los pesos de las conexiones o entrenamiento es mínima.

2.7.6 Fácil inserción dentro de la tecnología existente.

Una red individual puede ser entrenada para desarrollar una única y bien definida tarea (tareas complejas, que hagan múltiples selecciones de patrones, requerirán sistemas de redes interconectadas). Con las herramientas computacionales existentes (no del tipo PC), una red puede ser rápidamente entrenada, comprobada, verificada y trasladada a una implementación hardware de bajo coste. Por lo tanto, no se presentan dificultades para la inserción de redes neuronales en aplicaciones específicas, por ejemplo de control, dentro de los sistemas existentes. De esta manera, las redes neuronales se pueden utilizar para

mejorar sistemas en forma incremental y cada paso puede ser evaluado antes de acometer un desarrollo más amplio. ^[15]

2.8 Modelación de las Redes Neuronales Artificiales.

Para la modelación con RNA se emplea el toolbox de redes neuronales de Matlab. Este toolbox proporciona funciones para el diseño, inicialización, simulación y entrenamiento de los modelos neuronales de uso más extendido en la actualidad: Perceptrón, redes lineales, redes de retropropagación, redes de base radial, aprendizaje asociativo y competitivo, aplicaciones auto-organizativas, aprendizaje de cuantización vectorial, redes de Elman y redes de Hopfield.

Mediante la inclusión de un amplio abanico de funciones y procedimientos escritos para Matlab, el usuario puede efectuar el diseño de arquitecturas complejas, combinando los modelos que ya están proporcionados por defecto en el toolbox. Así mismo, puede definir sus propias funciones de transferencia e inicialización, reglas de aprendizaje, funciones de entrenamiento y estimación de error para usarlas posteriormente con las funciones básicas.

El toolbox, aporta las facilidades y prestaciones gráficas de Matlab para el estudio del comportamiento de las redes: visualización gráfica de la matriz de pesos y vector de desplazamiento mediante diagramas de Hinton, representación de errores a lo largo del entrenamiento, mapas de superficie de error en función de pesos y vector de desplazamiento, etc. Estos gráficos resultan muy útiles en el estudio de la convergencia y estabilidad de los algoritmos de aprendizaje.

A pesar de que el estudio de las redes neuronales se inició ya hace algunas décadas, las primeras aplicaciones sólidas dentro de este campo no han tenido lugar hasta hace unos doce años y aun ahora constituyen un área de investigación en rápido desarrollo. ^[14]

2.8.1 Síntesis del trabajo desarrollado.

En este caso específico, los modelos desarrollados en este trabajo se basan en una red multicapa con propagación hacia adelante con algoritmo de aprendizaje con retropropagación.

Implementar un algoritmo basado en las RNA, permitirá obtener y pronosticar el consumo energético del accionamiento principal de los molinos de cemento a través de datos reales de producción sin necesidad de interrumpir el funcionamiento del equipo.

2.9 Arquitectura del Modelo Neuronal para obtener el consumo de energía del accionamiento principal de los molinos de cemento.

Para la modelación realizada se conformaron dos RNAs una para cada molino de cemento tomando variables de campo del año 2009, estas variables se normalizan a su valor máximo para trabajar con mayor exactitud. Los datos tomados están relacionados con la producción de cemento y el consumo de energía eléctrica. Como variables de entradas se tienen: consumo de Clínker, Yeso, Puzolana, tiempo de trabajo y producción total de cemento, la variable de salida es: energía eléctrica consumida.

En el diseño de la red se toma como criterio la selección de un número de neuronas en la primera capa y en la última capa igual al número de variables de entrada y salida respectivamente. El número de neuronas de la capa oculta se selecciona de acuerdo al comportamiento de la red durante el entrenamiento y determina la arquitectura final de la red seleccionada como se verá en el epígrafe 2.12.

2.10 Arquitectura RNA del molino de cemento 1.

La función transferencia de las neuronas de la primera y segunda capa es *tansig* y la de la neurona de la última capa es *purelin* como función transferencial a la salida de la red, los términos $W_{\{i,j\}}$ y $b_{\{i\}}$ se corresponden con las matrices de pesos y polarizaciones respectivamente de la i -ésima capa de las RNA. De esta forma, la red se ha estructurado con cinco neuronas en la primera capa (Capa 1) correspondientes a las variables de entrada (consumo de clínter (Clínter)), (consumo de yeso (Yeso)), (consumo de puzolana (Puzolana)), (tiempo de trabajo (TTrabajo)) y (producción de cemento (Cemento)), veinticinco neuronas en la capa intermedia (Capa 2) y una neurona en la tercera capa (Capa 3) correspondientes a las variables de salida (consumo de energía del accionamiento principal (Energía)).

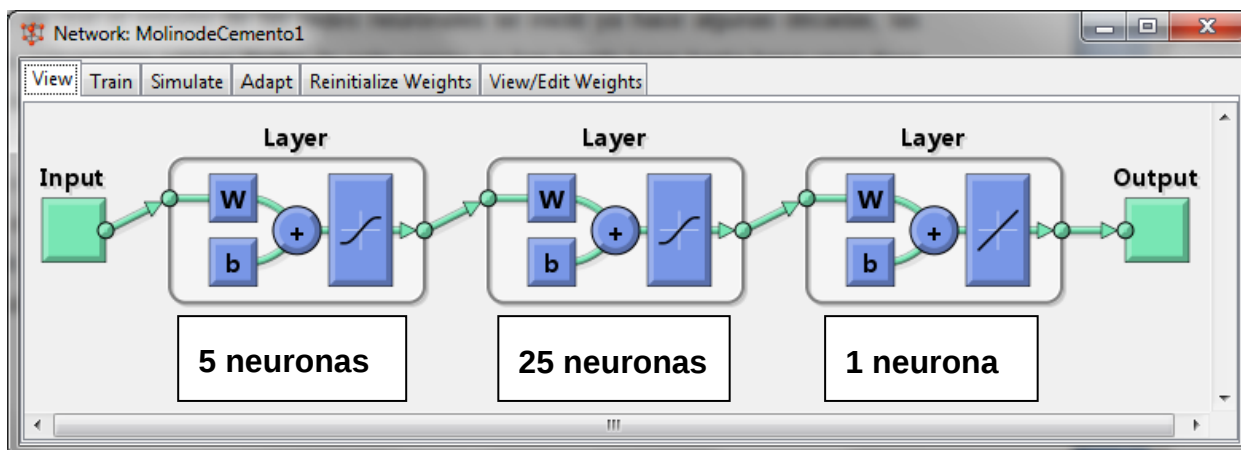


Figura 2.4 Arquitectura RNA (5-25-1) Molino de cemento 1

Los Anexos 1 y 3 muestran respectivamente los valores normalizados de las entradas y de la salida de la RNA (5–25–1) perteneciente al molino de cemento 1.

2.11. Arquitectura RNA del molino de cemento 2.

La función transferencia de las neuronas de la primera y segunda capa es *tansig* y la de la neurona de la última capa es *purelin*. como función transferencial a la salida de la red, los términos $W_{\{i,j\}}$ y $b_{\{i\}}$ se corresponden con las matrices de pesos y polarizaciones respectivamente de la i -ésima capa de las RNA. De esta

forma, la red se ha estructurado con cinco neuronas en la primera capa (Capa 1) correspondientes a las variables de entrada (consumo de clínker (Clínker)), (consumo de yeso (Yeso)), (consumo de puzolana (Puzolana)), (tiempo de trabajo (TTrabajo)) y (producción de cemento (Cemento)), veinte neuronas en la capa intermedia (Capa 2) y una neurona en la tercera capa (Capa 3) correspondientes a las variables de salida (consumo de energía del accionamiento principal (Energía)).

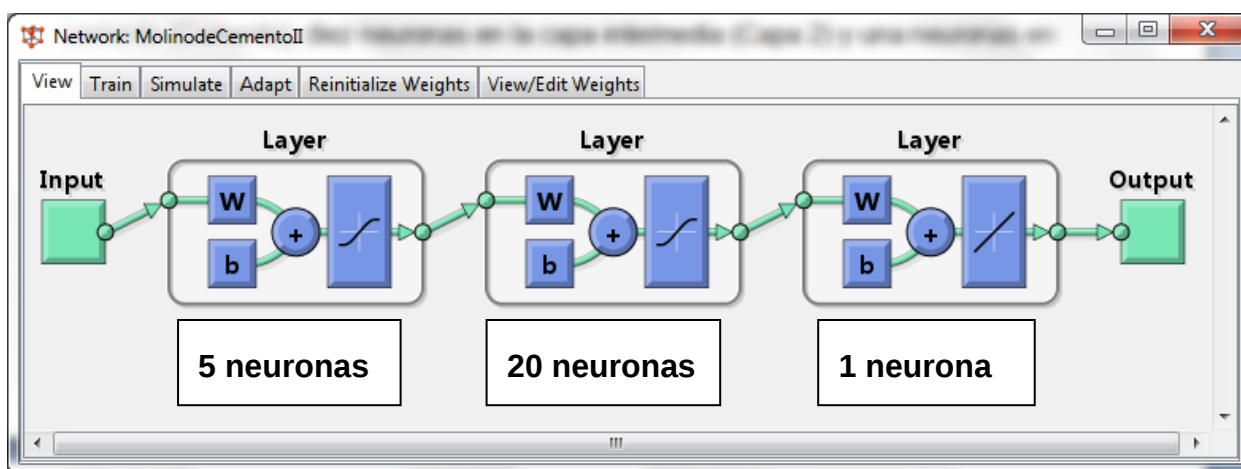


Figura 2.5 Arquitectura RNA (5-20-1) Molino de cemento 2

Los Anexos 2 y 4 muestran respectivamente los valores normalizados de las entradas y de la salida de la RNA (5–20–1) perteneciente al molino de cemento 2.

2.12 Selección de la arquitectura de la RNA.

Desafortunadamente, no se conoce una forma para determinar de antemano el número de capas intermedias (ocultas) ni el número de neuronas de las mismas, por lo que se requiere una aproximación de prueba y error.

En todos los casos, para las redes diseñadas el número de neuronas de las capas intermedias fue escogido mediante este tipo de ensayo, el cual consiste en realizar varios entrenamientos variando el número de neuronas y manteniendo las épocas constantes, seleccionando aquellas que garantizaron el mínimo error cuadrático medio (mse) durante el entrenamiento.

En las Figuras 2.7 y 2.8 se pueden ver los resultados de la aplicación del método de prueba y error para los molinos de cemento.

El número de capas ocultas (capa 2) es 1, debido a que si se aumenta el número de capas se corre el riesgo de sobre-entrenar la RNA. En la actualidad, el número de capas máximo que se utiliza para realizar el entrenamiento de una RNA es 4 (el máximo de capas ocultas es 2).

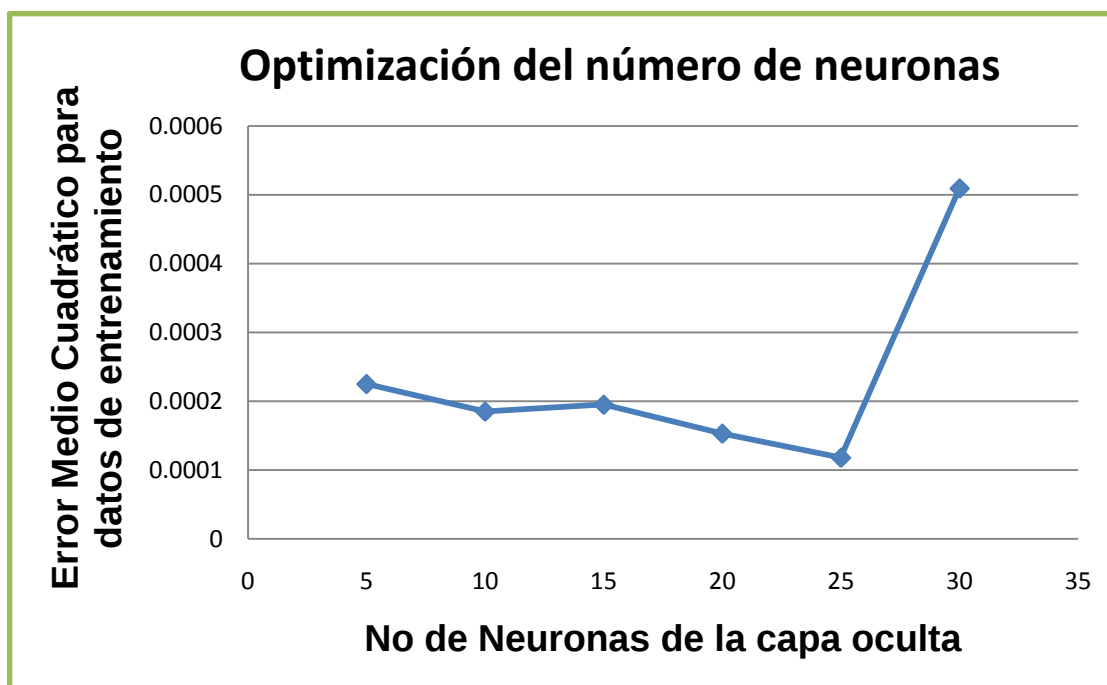


Figura 2.7 Optimización del número de neuronas de la capa oculta en el molino de cemento1 Detalles de los valores de la figura 2.7: (Anexo 5)

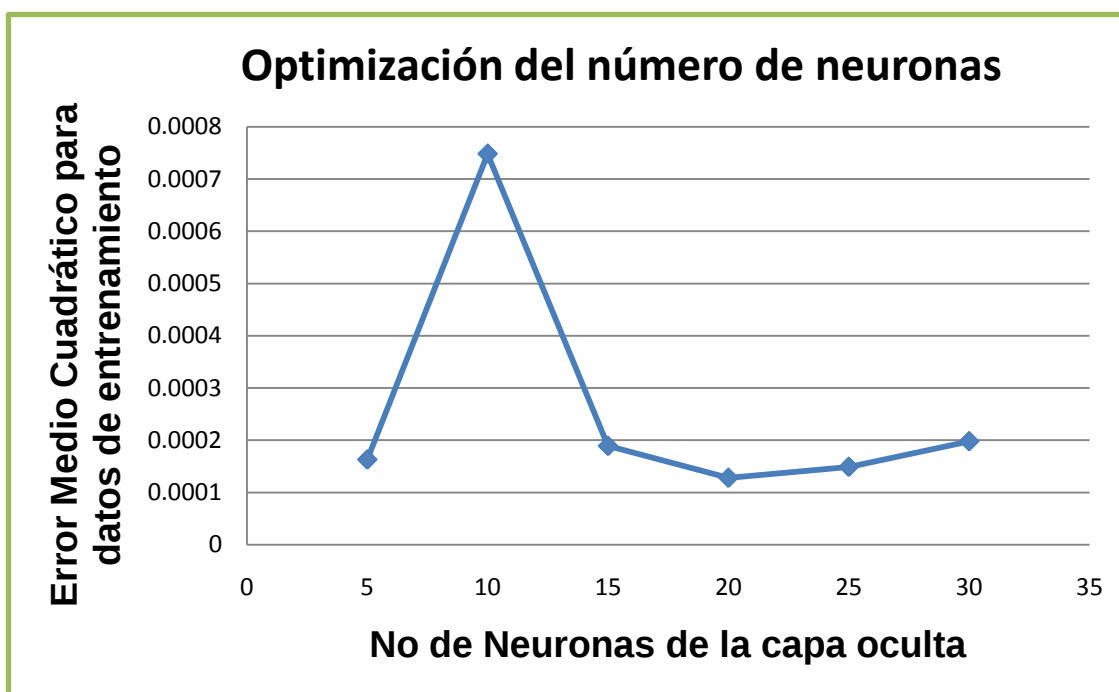


Figura 2.8 Optimización del número de neuronas de la capa oculta en el molino de cemento 2 Detalles de los valores de la figura 2.8: (Anexo 6)

2.13 Entrenamiento de las RNAs.

Para la realización del entrenamiento de la RNA ^[16] se realizaron las operaciones siguientes:

1. Se importan los datos de entrada y salida al workspace del Matlab. Previamente, se normalizan los datos de entrada y salida a sus valores máximos para trabajar en el rango $[-1,1]$.
2. Se introduce en la ventana de trabajo el comando `nnTool`, al realizar esta operación el Matlab abrirá una ventana de trabajo llamada Network\ Data Manager a la cual serán importados los datos de entrada y salida.
3. Creación de la RNA. El Network\ Data Manager da esta opción, al utilizarla se abrirá una nueva ventana donde se definirán los siguientes datos:
 - Tipo de RNA (Network Type): Feed-Forward backprop
 - Datos de entrada (Input data)
 - Datos de salida (Target data)

- Función de entrenamiento (Training function) : TRAINLM
- Adaptación de la función de aprendizaje (Adaption learning function): LEARNNGDM
- Comportamiento de la función (Performance function): MSE
- Número de capas (Number of layers): 3

Después de seleccionar la cantidad de capas de la red entonces se definirán el número de neuronas (Number of neurons) y la función de transferencia (Transfer function) para cada capa.

Al crear la RNA se retorna al Network\Data Manager y se abre la RNA creada.

4. Entrenar la RNA (Train)

Al abrir la RNA se abrirá una nueva ventana la cual entre varias opciones tiene la de entrenar la RNA. Antes de entrenar primero se especifican algunos parámetros como el número de épocas. Siguiendo esta metodología se pudo realizar con éxito el entrenamiento de la RNAs de este trabajo.

Para realizar el entrenamiento de la RNA el Matlab solo utiliza el 60% de los datos, el 40% restante lo distribuye en: 20% para la validación y un 20% para la prueba.

El comportamiento de la red durante el proceso de entrenamiento se puede apreciar solicitando la ventana Performance. En esta ventana se muestran las curvas de MSE en función de las épocas de entrenamiento para los datos de entrenamiento propiamente y para los datos de validación y prueba. Se puede apreciar en las figuras 2.9 y 2.10 que los perfiles de las curvas de validación y prueba siguen la misma tendencia de la curva de entrenamiento y que este se logra con errores del orden de 10^{-3} . Esto es característico de un entrenamiento correcto donde la red es capaz de responder con pequeños errores aún para datos de entrada con los cuales no ha sido entrenada.

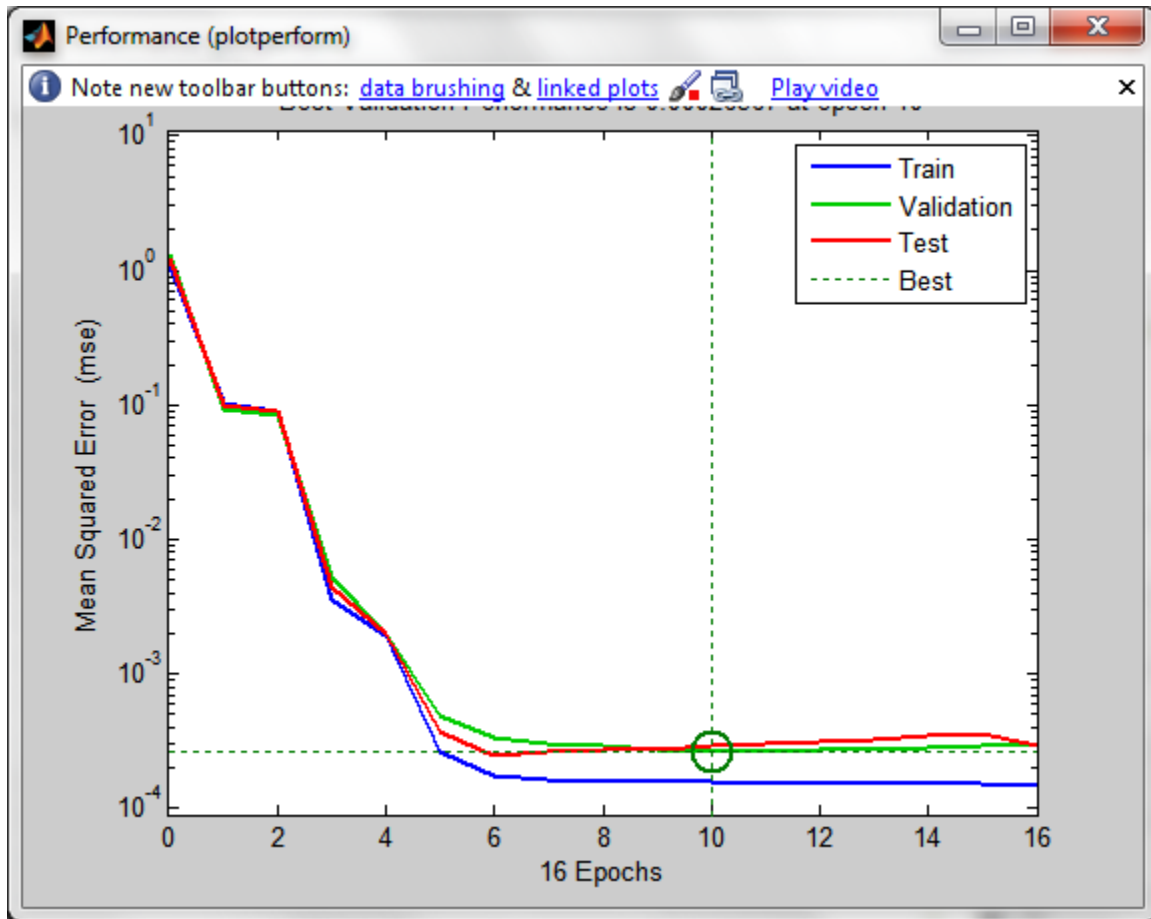


Figura 2.9 Comportamiento de la RNA correspondiente al molino de cemento 1.

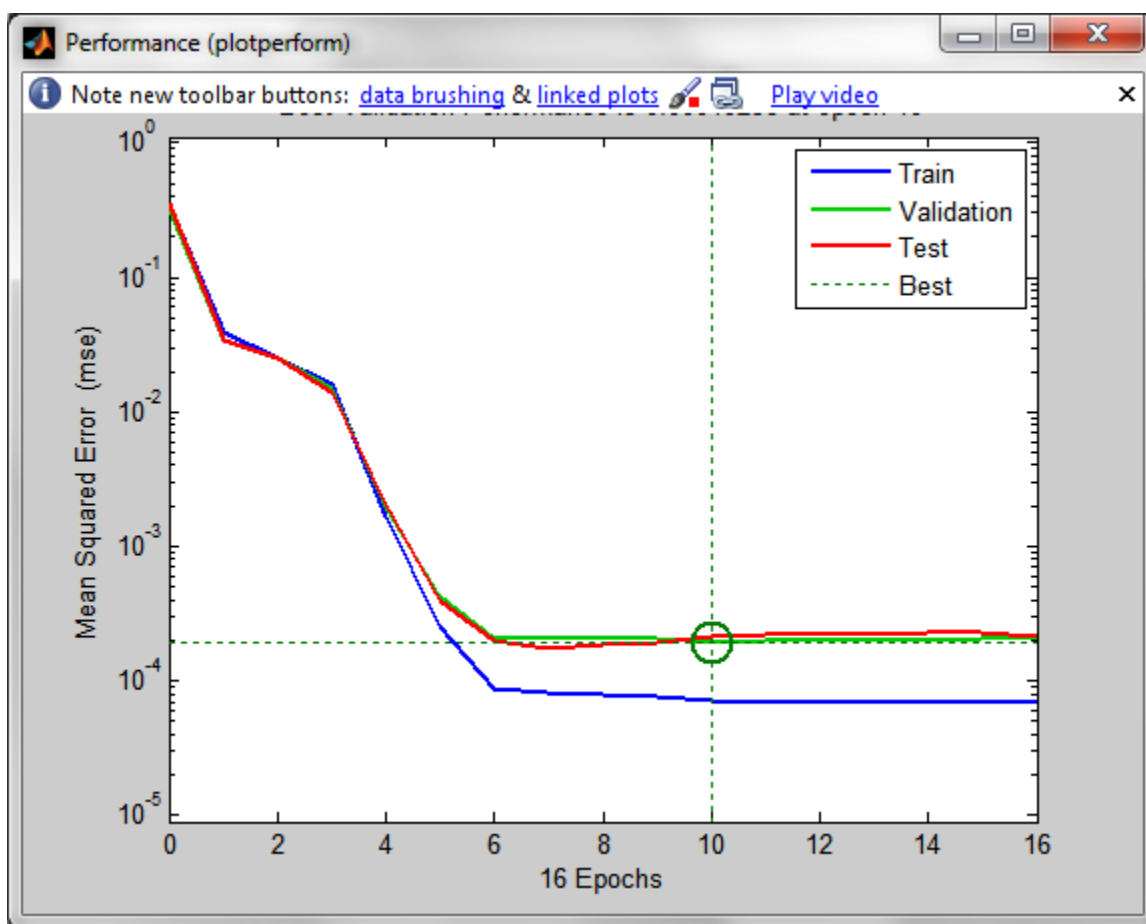


Figura 2.10 Comportamiento de la RNA correspondiente al molino de cemento 2.

2.14 Análisis post-entrenamiento.

La herramienta de redes neuronales del Matlab permite realizar un análisis post-entrenamiento para verificar la capacidad de generalización de la red. Este análisis consiste en hacer una regresión entre los valores de salida de la red y los objetivos correspondientes. Un coeficiente de correlación aproximado a uno significa que la red reproduce fielmente el comportamiento del objeto o proceso que está simulando. En la Figuras 2.11 y 2.12 se pueden ver las regresiones de los modelos RNA de los molinos de cemento obteniéndose excelentes correlaciones en este análisis postentrenamiento.

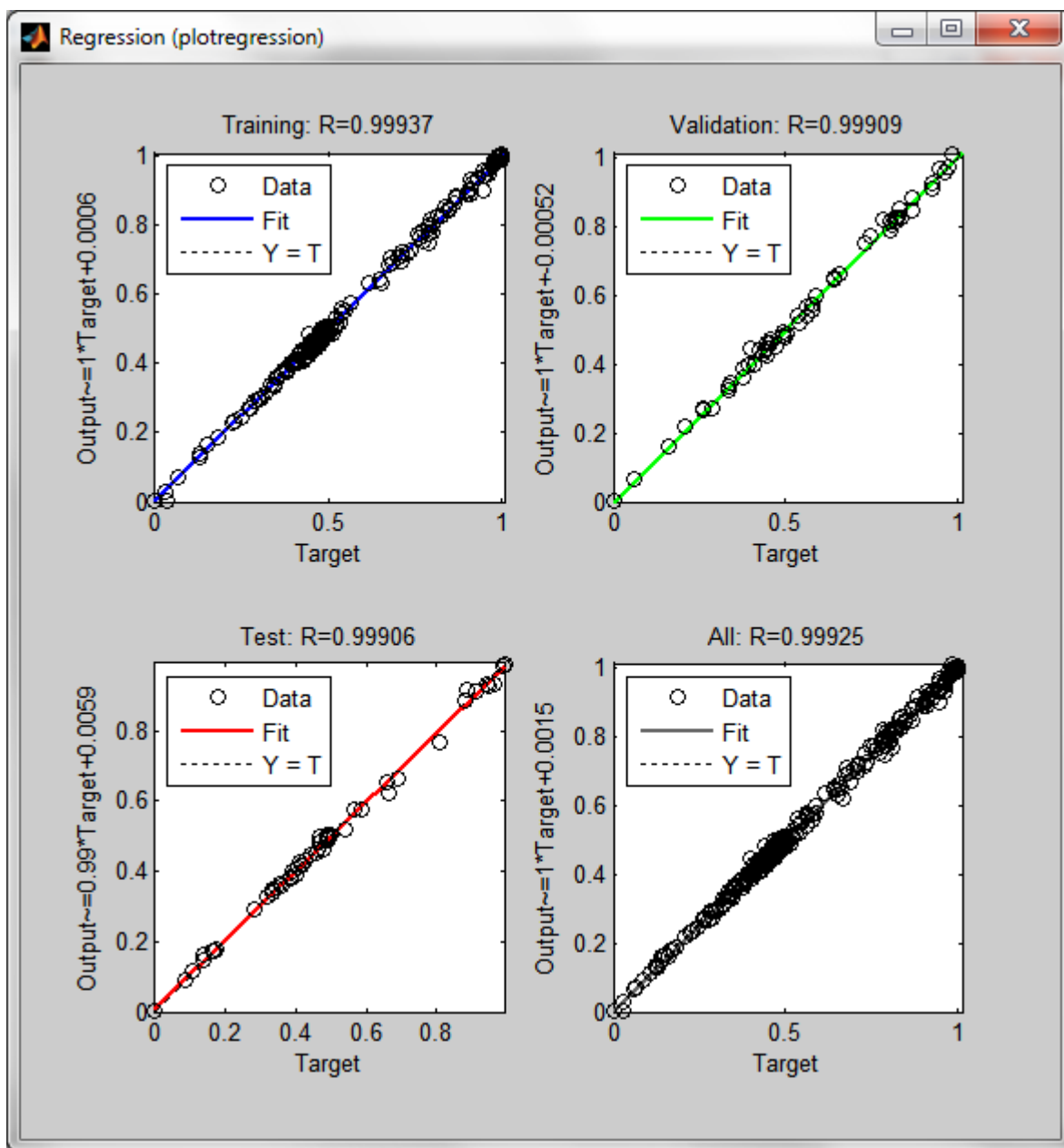


Figura 2.11 Correlación entre la salida de la RNA del molino de cemento 1.

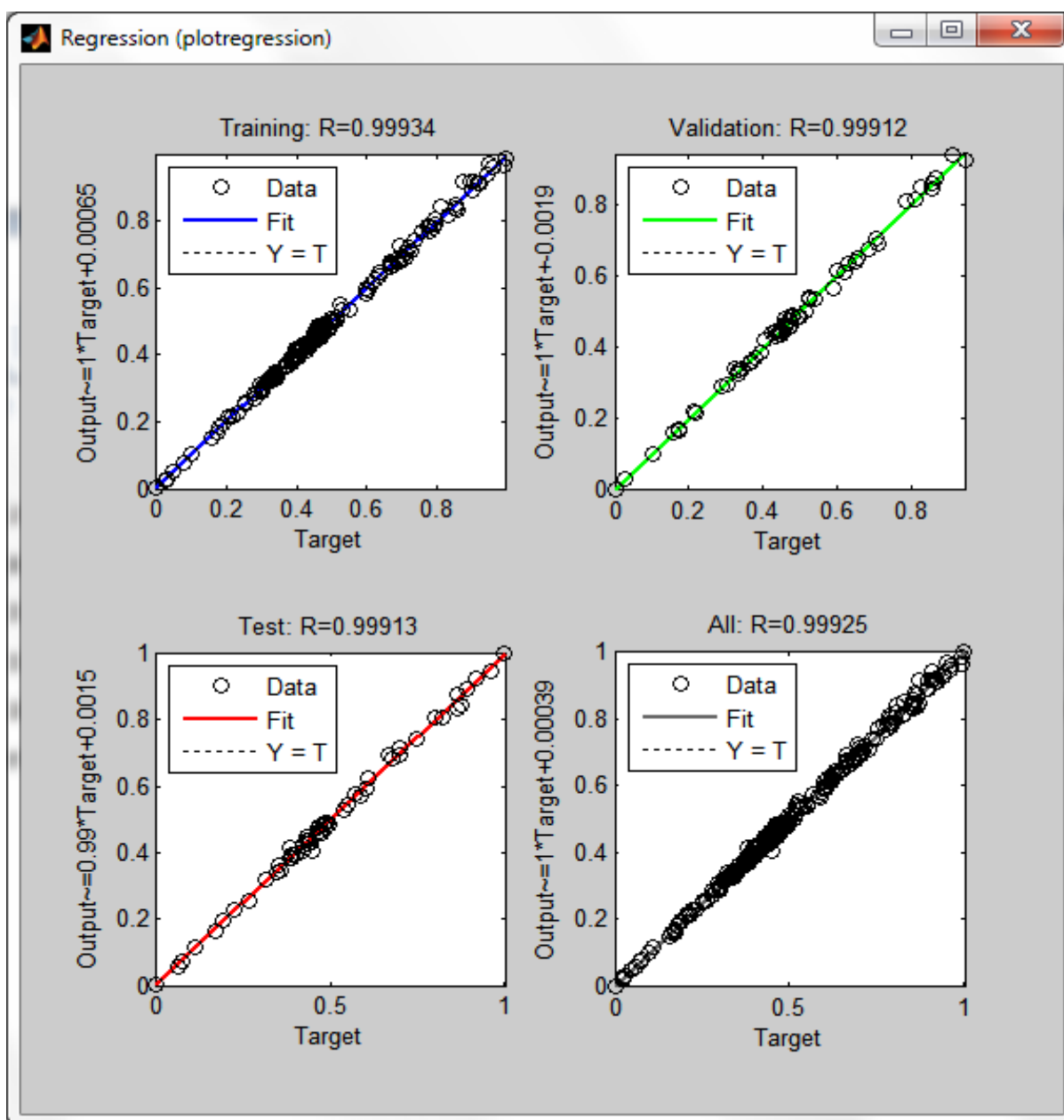


Figura 2.12 Correlación entre la salida de la RNA del molino de cemento 2.

Los resultados mostrados corroboran que el comportamiento de las redes, tanto para los datos de entrenamiento como para los datos de validación y prueba se corresponde con los valores tomados como objetivos con coeficientes de correlación superiores a 0,99 en todos los casos. Con esta prueba se verifica la calidad del modelo obtenido capaz de reproducir con precisión el consumo de energía eléctrica en los molinos de cemento.

2.15 Conclusiones Parciales.

- El modelo más adecuado para los molinos, que considera los parámetros reales de operación y estado técnico de los mismos se construye basado en redes neuronales artificiales.
- Los modelos obtenidos para el consumo de energía responden satisfactoriamente y los resultados de la simulación se correlacionan con los datos experimentales con un $R^2 > 0.99$ para ambos casos.

CAPITULO III

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

3.1 Análisis estadístico de los errores para la RNA del Molino 1.

En el capítulo anterior se realizó un análisis de regresión que muestra la capacidad de generalización de la red diseñada, o sea, cuan buena es la red para dar resultados satisfactorios con juegos de datos no utilizados en el proceso de entrenamiento. Además de esto, es importante conocer la magnitud de los errores si se quiere utilizar esta red como un sensor virtual del consumo energético del molino o como un predictor de este consumo.

Para ello se simuló la red y se desnormalizaron los valores para expresar los resultados en magnitudes de consumo de energía diario (kWh). Se determinó el error absoluto como la diferencia entre la simulación de la red y el valor real del consumo de energía obtenido de las lecturas de los metros contadores del alimentador del molino. Este consumo de energía diario del molino 1 es el valor desnormalizado de la variable Energía del Anexo 3. Igual tratamiento se da en el caso del molino 2.

Se emplea la herramienta `dfittool` del Matlab para determinar la ley de distribución a la que se ajustan los errores. El resultado arroja que cumplen con la ley de distribución normal como se muestra en la Figura 3.1 y los parámetros de la distribución son:

Distribution: Normal

Log likelihood: -2718.93

Domain: $-\text{Inf} < y < \text{Inf}$

Mean: 10.7019

Variance: 287688

Parameter Estimate Std. Err.

mu 10.7019 28.5479

sigma 536.366 20.2294

Estimated covariance of parameter estimates:

mu sigma

mu 814.981 -5.61163e-014

sigma -5.61163e-014 409.23

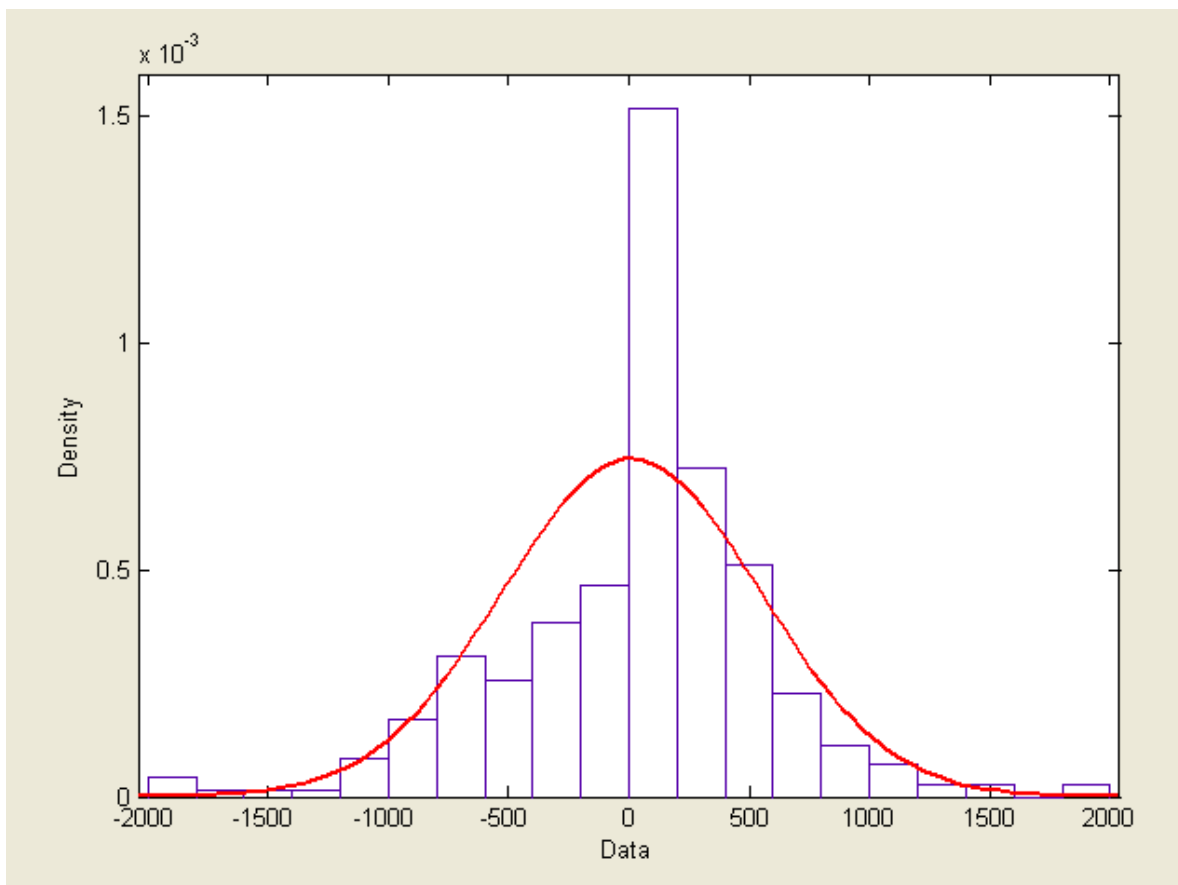


Figura 3.1 Ley de Distribución normal en el molino 1

Se puede observar que el valor más probable del error es 10.70 kWh, con una desviación estándar de 563.36 kWh, lo que se considera adecuado si se tiene en cuenta que el consumo medio diario es de 24606 kWh.

3.2 Análisis estadístico de los errores para la RNA del Molino 2.

Para el caso de los errores que se obtienen al simular el consumo de energía del molino 2, también se ajustan a la ley de distribución normal como se muestra en la Figura 3.2. Los parámetros de la distribución siguientes:

Distribution: Normal

Log likelihood: -2638.49

Domain: $-\text{Inf} < y < \text{Inf}$

Mean: -2.38907

Variance: 257977

Parameter	Estimate	Std. Err.
mu	-2.38907	27.3452
sigma	507.914	19.3781

Estimated covariance of parameter estimates:

	mu	sigma
mu	747.759	-3.85484e-014
sigma	-3.85484e-014	375.512

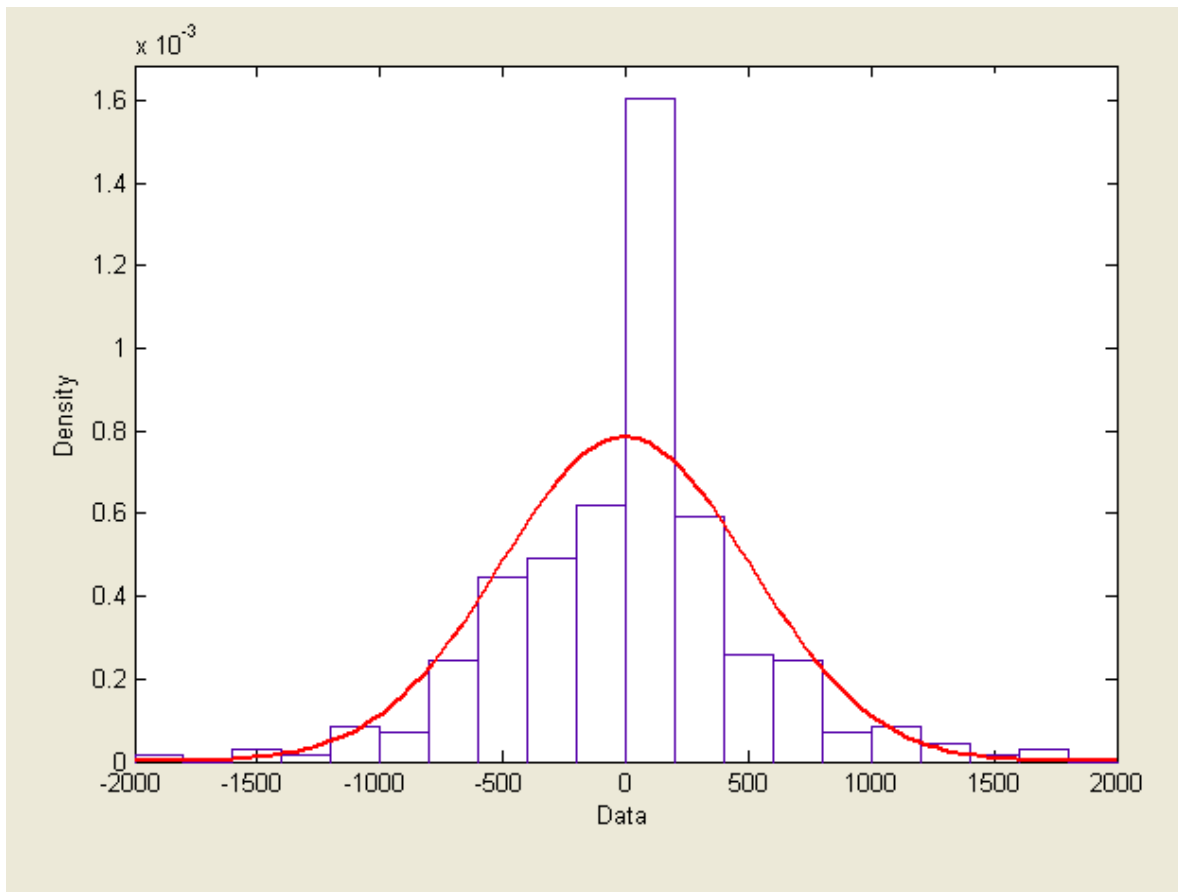


Figura 3.2 Ley de Distribución normal en el molino 2

El valor más probable del error para la red del molino 2 es 2.38 kWh por defecto, con una desviación estándar de 507.91 kWh, lo que también se considera adecuado si se tiene en cuenta que el consumo medio diario es de 23 114 kWh.

3.3 Aplicación en pronóstico de los consumos energéticos de los molinos.

Los modelos neuronales de consumo energético de los molinos 1 y 2 constituyen herramientas útiles para el pronóstico. Con el objetivo de demostrar esta afirmación se procede a simular el consumo de ambos equipos con datos del 2010 y compararlos con el consumo pronosticado por las redes neuronales para igual periodo de tiempo. En los Anexo 9 al 12 se muestran los datos

disponibles correspondientes a los meses de enero y febrero del 2010. Las Figuras 3.3 a la 3.6 muestran los resultados de la comparación donde se observa la correspondencia entre los perfiles de las curvas de valores pronosticados por los modelos y las mediciones reales.

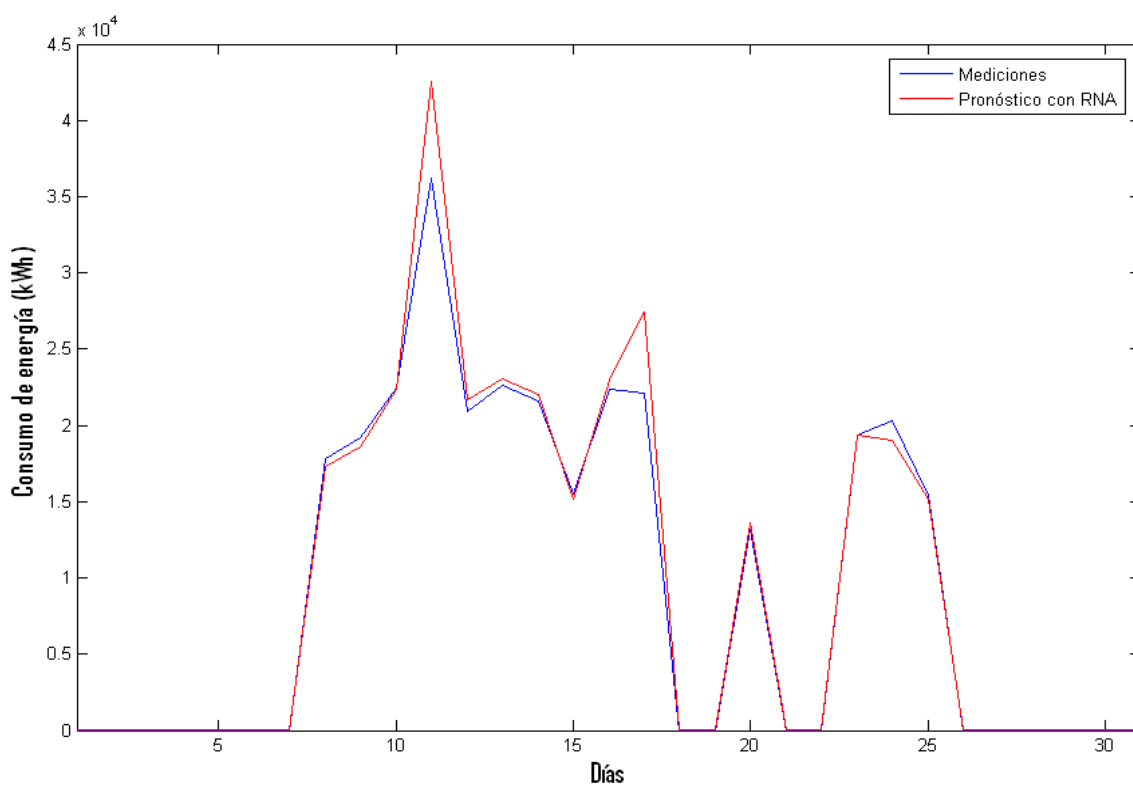


Figura: 3.3 Consumo de energía diario del molino 1 medido y pronosticado con el modelo neuronal para enero del 2010.

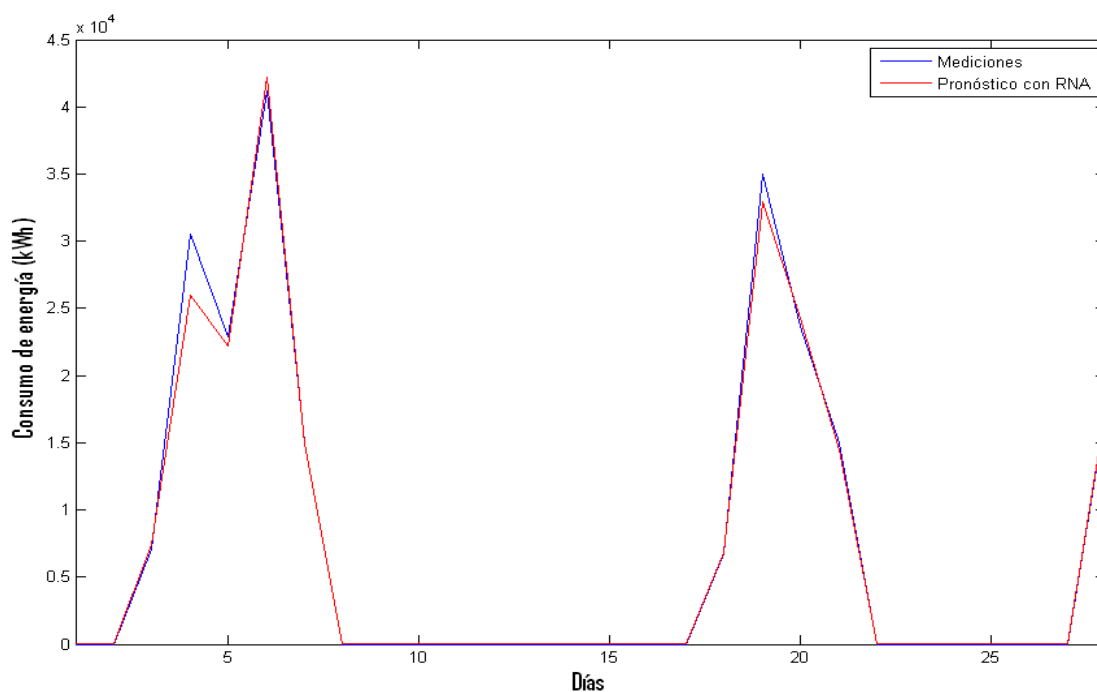


Figura: 3.4 Consumo de energía diario del molino 1 medido y pronosticado con el modelo neuronal para febrero del 2010.

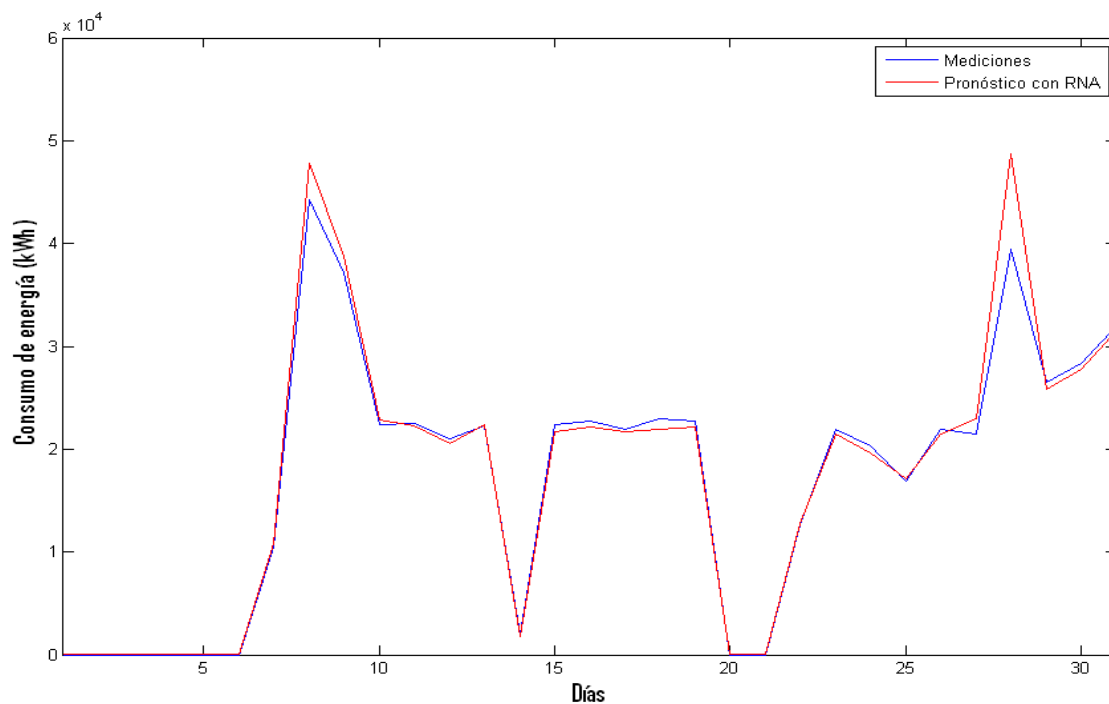


Figura: 3.5 Consumo de energía diario del molino 2 medido y pronosticado con el modelo neuronal para enero del 2010.

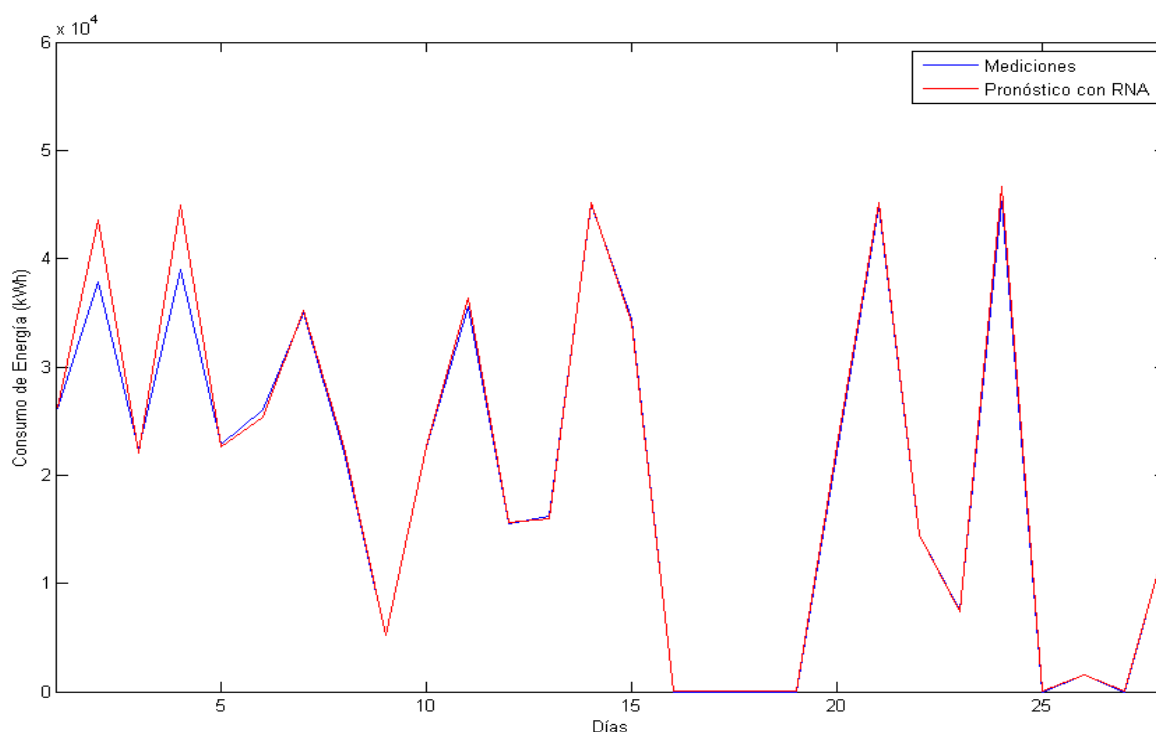


Figura: 3.6 Consumo de energía diario del molino 2 medido y pronosticado con el modelo neuronal para febrero del 2010.

Esta aplicación de los modelos obtenidos constituye una herramienta adicional para los especialistas en el campo energético ya que permite la planificación de los consumos sobre bases científicamente fundamentadas. Es posible con estos modelos, conociendo los datos relacionados con la producción dar pronósticos certeros del consumo diario esperado en esta área y analizar las desviaciones que ocurran como un indicador para el diagnóstico. También ante interrupciones de alimentación por diversas causas o roturas es posible pronosticar el consumo a corto plazo estimando el tiempo de trabajo para una producción y dosificación determinada.

3.4 Comportamiento de índice de consumo de los accionamientos principales del área de molinos.

Comoquiera que los modelos obtenidos reproducen con adecuada precisión los consumos energéticos de ambos molinos, se propone a partir de ellos, obtener la gráfica de índice de consumo vs producción para ambos tipos de cemento para una dosificación típica. Para esto se siguió el procedimiento siguiente:

1-Generar un vector de valores normalizados de producción de cemento desde 0 a 1.

2-Generar los vectores normalizados de la dosificación para cada tipo de cemento en función de la producción como:

Para PP250:

$$Puzolana = (0.2 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Puzolana)} \quad (3.1)$$

$$Yeso = (0.05 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Yeso)} \quad (3.2)$$

$$Clinker = (0.75 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Clinker)} \quad (3.3)$$

Para P350:

$$Puzolana = (0.05 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Puzolana)} \quad (3.4)$$

$$Yeso = (0.05 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Yeso)} \quad (3.5)$$

$$Clinker = (0.9 \cdot Cemento) \cdot \frac{\max(Cemento)}{\max(Clinker)} \quad (3.6)$$

Siendo:

Puzolana: Variable que cuantifica el material silíceo que dividido finamente reacciona cuando se mezcla con el agua a temperatura ambiente formando compuestos con propiedades cementantes. También se conoce como adicción.

Yeso: Material que se utiliza en la elaboración de cemento portland para retardar el tiempo de fraguado.

Clínker: Principal material que se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que oscila entre 1350 y 1450 °C

Cemento: Producto obtenido tras la mezcla de clínker, yeso y puzolana que se dosifican según el tipo de cemento a producir.

PP250: Tipo de cemento con un 20 por ciento de puzolana.

P350: Tipo de cemento con un 5 por ciento de puzolana.

3-Obtener el vector de entrada para la RNA considerando un tiempo de trabajo normalizado igual al vector de producción de cemento. El vector de entrada será:

$$Entrada = \begin{bmatrix} Puzolana \\ Yeso \\ Clínker \\ Cemento \\ TTrabajo \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

4-Simular la red con el vector de entrada anterior para obtener los consumos de energía asociados a la producción variable.

5-Obtener el Índice de consumo dividiendo término a término la salida desnormalizada de la red por el vector producción de cemento.

Si se grafican los índices de consumo obtenidos en el punto 5 contra la producción se obtienen las curvas que se muestran en las Figuras 3.7 y 3.8 para los molinos 1 y 2 respectivamente.

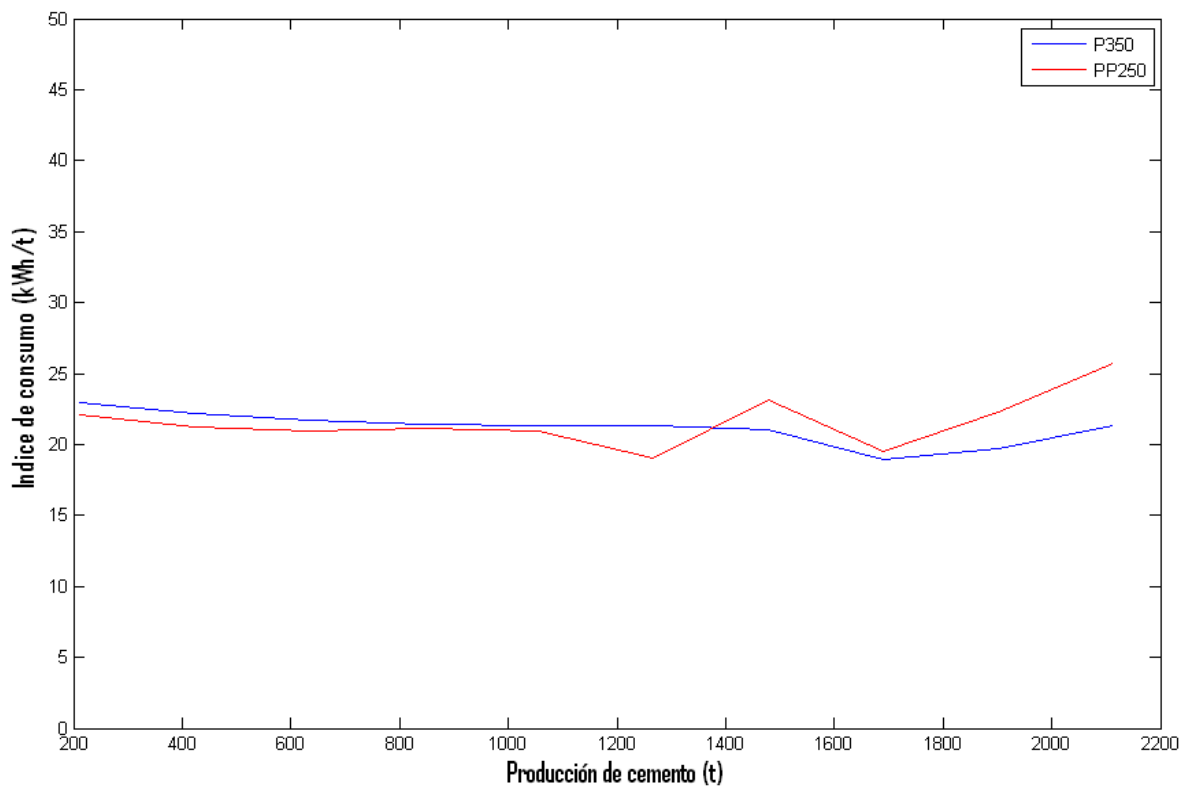


Figura 3.7 índice de consumo vs producción para el molino 1 por tipo de cemento a partir del modelo neuronal.

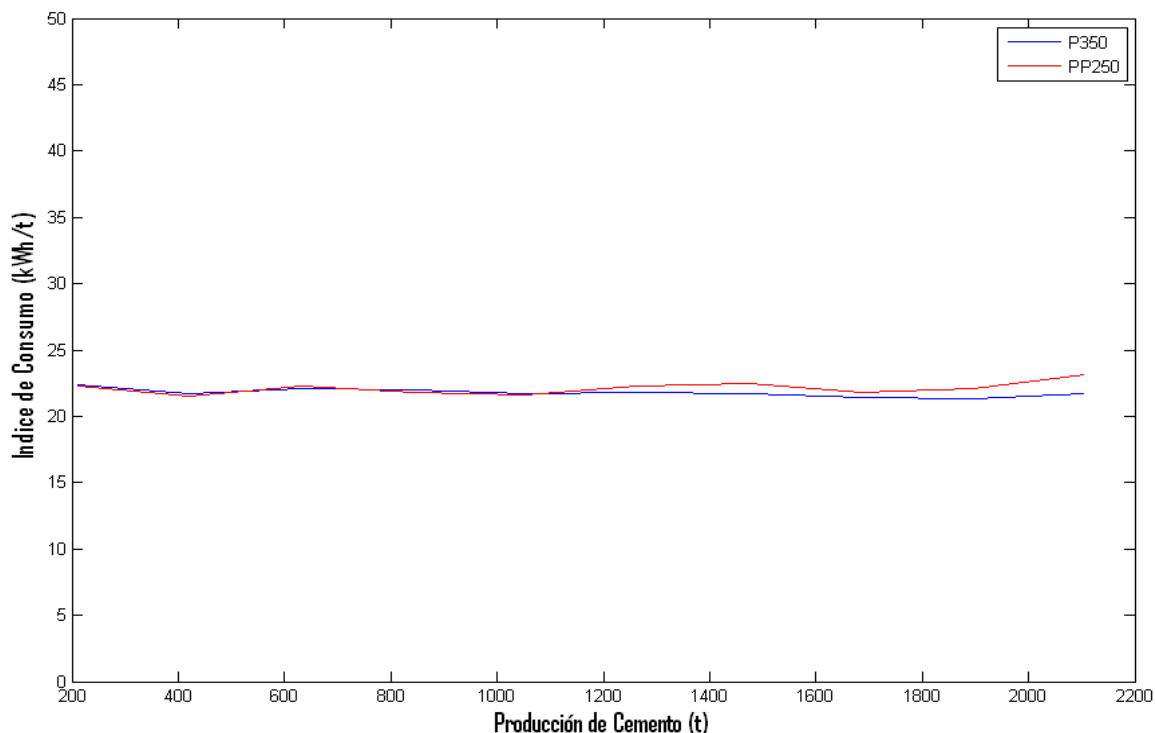


Figura 3.8 Índice de consumo vs producción para el molino 2 por tipo de cemento a partir del modelo neuronal.

En las Figuras anteriores puede observarse que no existe una marcada diferencia entre los índices de consumo obtenidos por el modelo para ambos tipos de cemento o lo que este se pudiera considerar único para ambas producciones. Los valores medios de este indicador para cada molino son los siguientes:

Molino 1= 21.40 kWh/t.

Molino 2= 21.95 kWh/t.

El comportamiento real del índice de consumo diario de ambos molinos para los meses de enero y febrero del 2010 se muestra en las Figuras 3.9 y 3.10, en las que se aprecia que para ambos molinos y para diferentes tipos de cemento este índice de consumo es aproximadamente de 25 kWh/t, por encima, en la mayoría de los casos, del valor medio obtenido por el modelo para una dosificación típica.

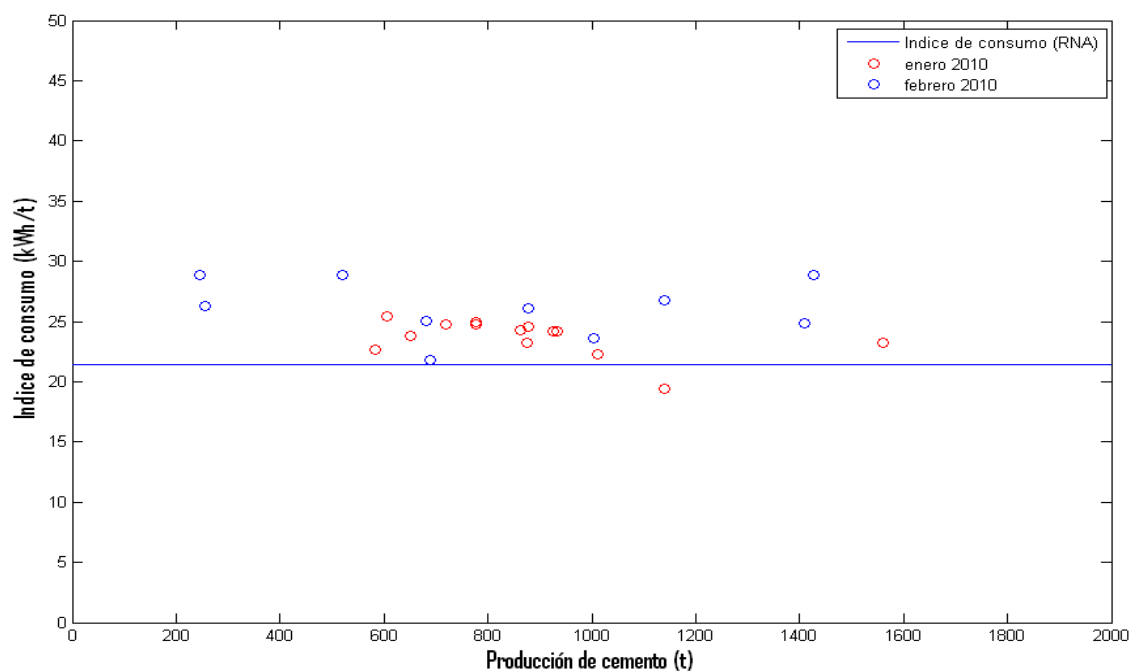


Figura 3.9 Indice de consumo vs producción para el molino 1 en enero y febrero del 2010.

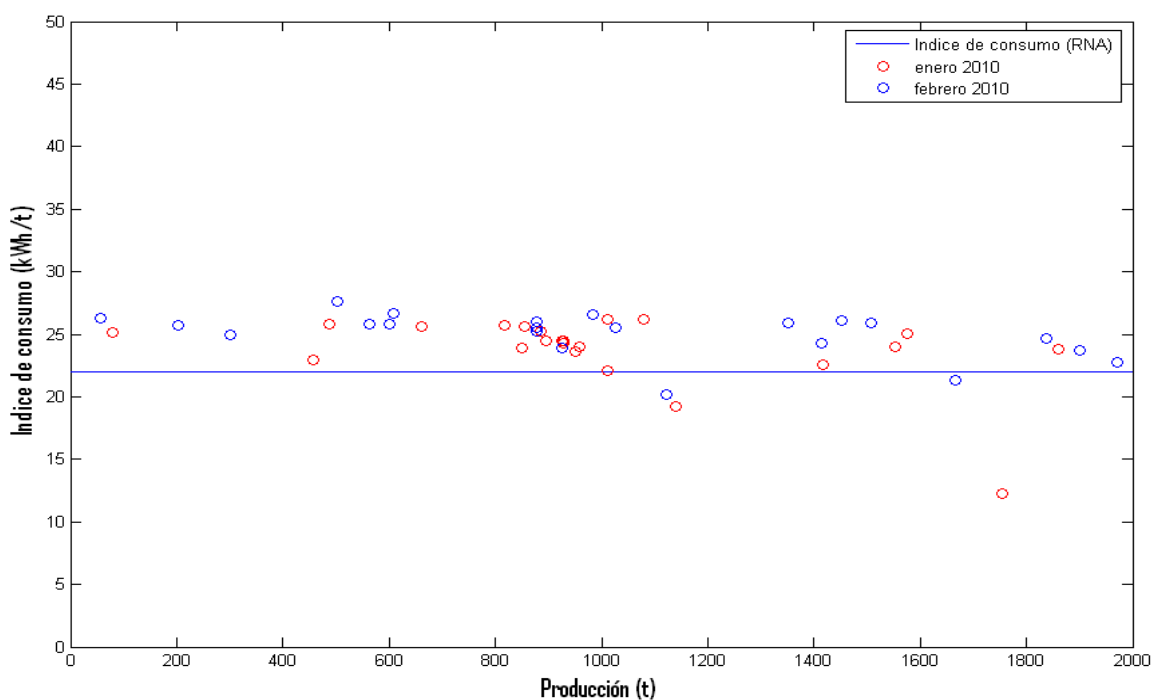


Figura 3.10 Indice de consumo vs producción para el molino 2 en enero y febrero del 2010.

Como se conoce, el rendimiento del molino, y por lo tanto su índice de consumo depende de sus condiciones de trabajo que incluye:

- Carga de bolas: Debe estar con la carga recomendada para una motulación eficiente.
- Tupiciones en los conductos: Debe existir suficiente circulación de aire dentro de las cámaras del molino.
- Fallos de alimentación: Perjudica directamente los índices de producción y el consumo de energía al trabajar en vacío, también la calidad del producto al haber alteraciones en la dosificación.
- Calidad de materias primas: Cualquier alteración del material que no esté dentro de la norma permitida disminuye el rendimiento del sistema.
- Intensificador de molienda: Permite que el material no se quede pegado en las paredes del molino y el las bolas de acero.

De los aspectos anteriores, trabajar en la determinación de la dosificación adecuada es una de las posibles oportunidades para lograr disminuir el consumo en esta área. En otras palabras, se propone ver si existe alguna influencia entre % de adición y yeso en el consumo energético del molino, de manera que hay que se pueda variar la dosificación dentro de un rango permisible que no conlleve afectaciones a la calidad y si esto es así, entonces utilizar el modelo obtenido para optimizar la dosificación de manera que se obtenga un mínimo consumo de energía diario. Un análisis de esta posibilidad se desarrolla en el siguiente epígrafe.

3.5 Estimación de la dosificación para mínimo consumo energético. Caso de estudio Molino 1.

Si se realizan gráficos de superficie donde el eje de las x represente el % de puzolana y el eje y el % de yeso (quedando definida la tercera componente de la dosificación, el clínker, como: $1 - \% \text{puzolana} - \% \text{yeso}$), entonces en el eje z

puede quedar representado el consumo de energía diario en función de la dosificación.

Las Figuras 3.11 y 3.12 muestran los gráficos de superficie generados en Matlab para el caso del molino 1 con ambos tipos de producción (P350 y PP250 respectivamente). Es posible observar que dentro de los rangos permisibles de variación de los componentes se puede trabajar de manera que el consumo de energía sea el menor.

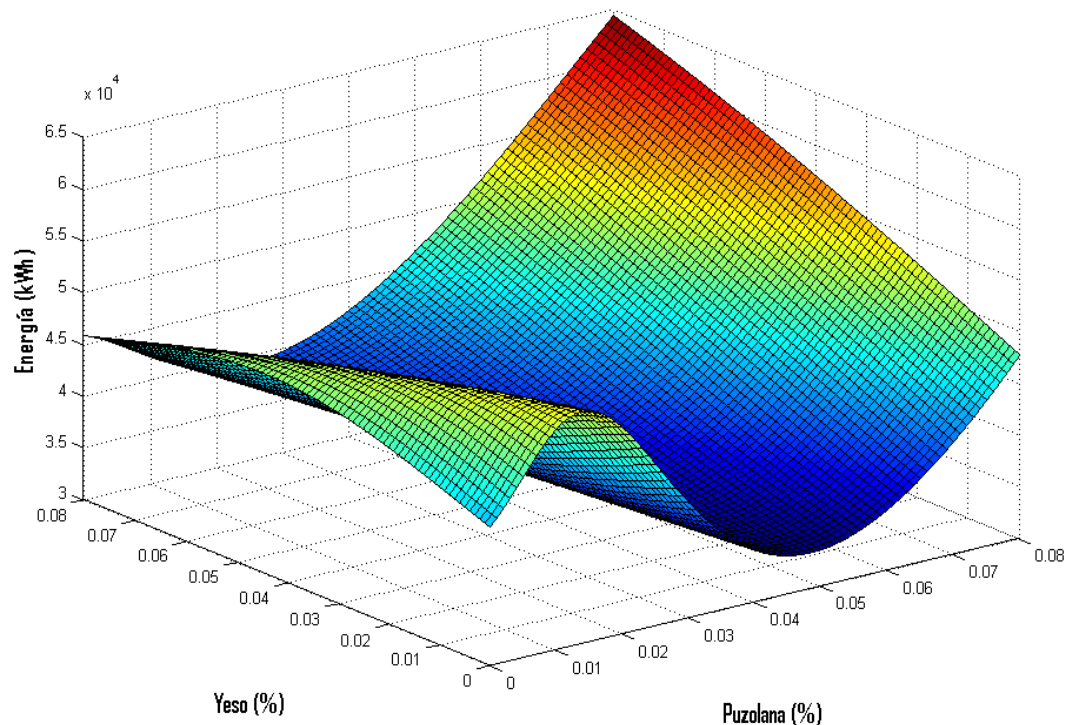


Figura 3.11 Grafico de superficie para cemento P350

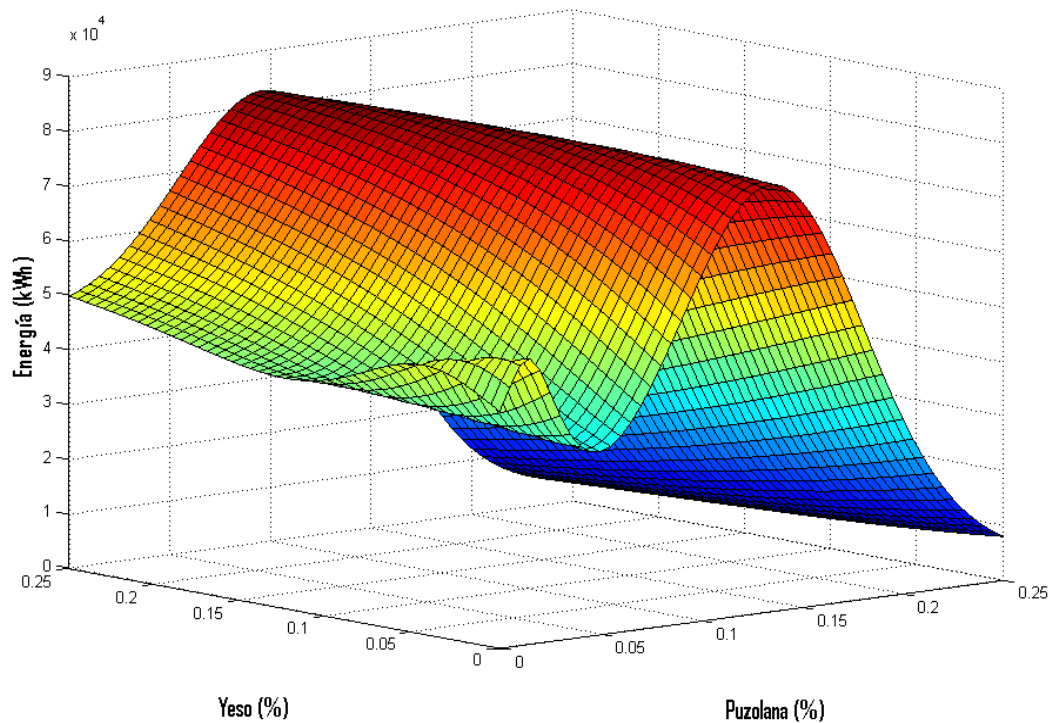


Figura 3.12 Grafico de superficie para cemento PP250

Con el propósito de obtener la dosificación óptima para ambos tipos de cemento, se propone la búsqueda de la misma que garantice mínimo consumo de energía y se emplea para ello un algoritmo genético desarrollado al efecto y cuya codificación se muestra en el Anexo 8.

Los resultados de la optimización son los siguientes:

Para cemento P350:

Puzolana: 5%

Yeso: 3.95%

Clínker: 91.05%

Para cemento PP250:

Puzolana: 18%

Yeso: 3%

Clínker: 79%

En el mes de enero de 2010 se trabajaron durante 7 días produciendo P350. Estos fueron los días 8, 9 13, 14, 15, 16 y 25. Los días 10, 11, 12, 17, 20, 23 y 24 con este molino se produjo PP250. En este tiempo el consumo energético asociado a estas producciones fue de 111 900 kWh para el caso de Cemento P350 y 154 600 kWh para PP250. Si se hubiera trabajado con la dosificación que propone la modelación entonces el consumo hubiera sido de 111 100 kWh para P350 y 152 350 kWh para PP250. Esto representa una potencialidad de ahorro de 3046 kWh en para el mes de enero, considerando solamente en el accionamiento principal del molino 1.

Estimado un comportamiento similar para el resto del año, se tiene para este molino una potencialidad de ahorro de 36 552 kWh/año aproximadamente.

3.6 Impacto económico-ambiental.

A continuación se realiza un breve análisis económico ambiental que ilustra la importancia de investigar a fondo estrategias operacionales para los consumidores más importantes de la industria, como es el caso de los accionamientos principales de los molinos de cemento.

Según reporte de la propia fábrica, y de acuerdo a la tarifa aplicada con un factor de combustible igual a 4.10, el precio promedio de la energía en el mes de enero del 2010 fue de 0.1583 CUC/kWh. Esto representa un potencial de ahorro

económico si se hubiera trabajado de acuerdo a los resultados del modelo neuronal de 5 786 CUC/año.

Tomando como índice de emisiones $e_{CO_2} = 0,921 \frac{kgCO_2}{kWh}$, según tipo de combustible quemado en las termoeléctricas de Cuba ^[17], la reducción del impacto ambiental asociado a la disminución en el consumo de energía alcanza el valor siguiente:

$$RI = EA \cdot e_{CO_2} = 36\,552 \frac{kWh}{año} \times 0,921 \frac{kgCO_2}{kWh} = 33\,664 \text{ kgCO}_2 / \text{año} \quad (3.8)$$

EA: Energía ahorrada

E_{co2}: Índice de emisiones de CO₂.

3.7 Conclusiones parciales.

- A partir del análisis estadístico se determina que el error en que se incurre con los modelos de consumo con relación a las mediciones reales es adecuado, con un valor medio de 10.7 kWh/día y una desviación estándar de 536,36 kWh/día para el molino 1. Para el caso del molino 2 el error medio es de - 2.389 kWh/día y una desviación estándar de 507.91 kWh/día.
- Con los modelos neuronales de consumo energético de los molinos 1 y 2 se puede predecir el consumo energético de los molinos adecuadamente, conociendo la dosificación y la producción esperada.
- Los índices de consumo de ambos molinos son aproximadamente iguales independientemente del tipo de cemento que se esté produciendo. Para los meses de enero y febrero de 2010 estos oscilan alrededor de los 25 kWh/t.
- Para una dosificación típica se puede establecer un índice de consumo teórico a partir de los modelos que es de 21.4 kWh/t y 21.95 kWh/t para los molinos 1 y 2 respectivamente.
- Existe influencia entre el % de adición y yeso en el consumo energético del molino, de manera que se puede variar la dosificación dentro de un rango permisible que no conlleve afectaciones a la calidad y conseguir valores mínimos de consumo energético.
- La dosificación que garantiza mínimo consumo de energía para cada tipo de cemento es: Para cemento P350: 5% de Puzolana, 3.95% de Yeso y 91.05% de Clínker; Para cemento P350: 18% de Puzolana, 3% de Yeso y 79% de Clínker;

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

- El consumo de energía eléctrica en la industria cementera cubana representa el 26% del consumo energético siendo uno de los principales responsables los molinos de cemento.
- En la fábrica de Cemento Cienfuegos S.A. los molinos de cemento consumen el 23% de la energía eléctrica de la planta y no se reporta ningún estudio para la modelación ni racionalización de su consumo.
- Se obtienen los modelos del consumo de energía eléctrica de los molinos, basados en redes neuronales, que consideran los parámetros reales de operación y el estado técnico real de los mismos, y que simulan el consumo del accionamiento principal satisfactoriamente con resultados que se correlacionan con los datos experimentales con un $R^2 > 0.99$ para ambos molinos.
- El error de los modelos de consumo obedece a una distribución Gausiana con valores medios de 10.7 kWh/día y una desviación estándar de 536,36 kWh/día para el molino 1 y un valor medio de -2.39 kWh/día y una desviación estándar de 507.91 kWh/día para el molino 2, por lo que se considera que la precisión es elevada en ambos casos.
- Las redes neuronales desarrolladas son útiles para el pronóstico de los consumos de energía eléctrica de los molinos de cemento de la Fábrica de Cemento Cienfuegos S.A., como se demuestra en este trabajo para los meses de enero y febrero del 2010.
- Los índices de consumo de ambos molinos son prácticamente independientes del tipo de cemento que se esté produciendo, aunque se

demuestra que está ligeramente influenciado por la dosificación con que se trabaja.

- La dosificación que garantiza mínimo consumo de energía para cada tipo de cemento se obtuvo a partir de los modelos neuronales y con el empleo de un algoritmo genético simple como herramienta de optimización. Los resultados obtenidos son: Para cemento P350: 5% de Puzolana, 3.95% de Yeso y 91.05% de Clínter; Para cemento P350: 18% de Puzolana, 3% de Yeso y 79% de Clínter.
- A partir de la dosificación propuesta por los modelos, se calcula que existen potenciales de ahorro estimados en 36 552 kWh/año para el caso del molino 1, lo que representa un potencial de ahorro económico de 5 786 CUC/año y un impacto ambiental asociado de 33 664 kgCO₂/año dejados de emitir.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación para incorporar otras variables además de la dosificación y producción de cemento, así como desarrollar los modelos de los equipos auxiliares del área incorporando los motores del electrofiltro y del separador dinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Proceso de fabricación de cemento. (2010, March 30). . Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/cemento.com>.
2. Colectivo de Autores. (2008a). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 4). Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
3. Colectivo de Autores. (2008b). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 33). Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
4. Jacott, Marisa. (2007). El uso de la energía en la industria cementera de América del Norte.
5. Colectivo de Autores. (2008). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 5). Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
6. Colectivo de Autores. (2008). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 48). Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
7. Colectivo de Autores. (2008). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 37). Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
8. Tipos de molinos de Cemento. (2010, March 25). . Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/molinos/cemento>.
9. Colectivo de Autores. (2008). Molino de cemento Horomill. CEMEX PANAMA.
10. Colectivo de Autores. (2005). *Instructivo de operación de los Molinos de Cemento* (pp. 2,3). Cienfuegos: Cementos Cienfuegos S.A.
11. Redes neuronales. (2010, April 16). . Retrieved from <http://www.invenia.es/redes/neuronales>.
12. Red Neuronal Artificial. (2010, April 17.). . Retrieved from <http://es.wikipedia.org/wiki/Redneuronalartificial>.
13. Perceptron Multicapa. (2010, March 25). . Retrieved from http://es.wikipedia.org/wiki/Perceptr%C3%B3n_multicapa.
14. A. Sjoberg, B. Melin, P. Isaksson. (2009.). *The MATLAB Handbook*. New York.

15. Diseño y programación de una red neuronal. (2010, June 4). . Retrieved from <http://.monografias.com/diseño/redneuronalartificial>.
16. Jova Álvarez, Yuniel. (2009). *Empleo de la inteligencia artificial en la determinación de las propiedades termodinámicas de los refrigerantes*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos. Cuba.
17. Landa, J. (2004). *Estimadores Cuantitativos de la Emisión de Contaminantes Atmosféricos Por Combustión del Petróleo Crudo Cubano y su Efecto Económico* (Vol. 2).

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- A. Sjoberg, B. Melin, P. Isaksson. (n.d.). *The MATLAB Handbook*. New York.
- Colectivo de Autores. (2004). *Redes Neuronales Artificiales Teoría, aplicaciones e implementaciones*.
- Colectivo de Autores. (2008a). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 4).
Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
- Colectivo de Autores. (2008b). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 33).
Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
- Colectivo de Autores. (2008.). Molino de cemento Horomill. CEMEX PANAMA.
- Colectivo de Autores. (2008.). *Instructivo de operación de los Molinos de Cemento*. Cienfuegos: Cementos Cienfuegos S.A.
- Colectivo de Autores. (2008.). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 5).
Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
- Colectivo de Autores. (2008.). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 48).
Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
- Colectivo de Autores. (2008.). *Diagnostico Energético Rama Cemento*. (p. 37).
Ciudad Habana: Ministerio de Economía y Planificación.
- Diseño y programación de una red neuronal. (2010, June 4). . Retrieved from
<http://monografias.com/diseño/redneuronalartificial>.
- Gómez Sarduy, D. (2009). *Curso Breve de Redes Neuronales Artificiales*.
Cienfuegos.
- Gutiérrez, R. (2005). *Redes neuronales Artificiales*.
- Jacott, Marisa. (2007). El uso de la energía en la industria cementera de América del Norte.
- Jova Alvarez, Y. (2009). *Empleo de la inteligencia artificial en la determinación de las propiedades termodinámicas de los refrigerantes*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos.
Cuba.

Landa, J. (2004). *Estimadores Cuantitativos de la Emisión de Contaminantes Atmosféricos Por Combustión del Petróleo Crudo Cubano y su Efecto Económico* (Vol. 2).

Matlab R2009a. (2010 April 17.). . The Mathworks.Inc.

Perceptron Multicapa. (2010, March 25). . Retrieved from
http://es.wikipedia.org/wiki/Perceptr%C3%B3n_multicapa.

Proceso de fabricacion de cemento. (2010 3). . Retrieved from
<http://es.wikipedia.org/wiki/cemento.com>.

Red Neuronal Artificial. (n.d.). . Retrieved from
http://es.wikipedia.org/wiki/Red_neuronal_artificial.

Redes neuronales. (2010, April 16). . Retrieved from
http://www.invenia.es/redes_neuronales.

Tipos de molinos de Cemento. (2010, March 25). . Retrieved from
<http://es.wikipedia.org/wiki/molinos/cemento>.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Entradas de la RNA (5-25-1) perteneciente al molino de cemento 1.

Fecha	TTrabajo	Clínker	Yeso	Puzolana	Cemento
1-1-09	0	0	0	0	0
2-1-09	0.84205128	0.57528736	0.36290323	0.152777778	0.460476788
3-1-09	0.94871795	0.77068966	0.48387097	0.219444444	0.618987871
4-1-09	0.79487179	0.58218391	0.38709677	0.166666667	0.468841489
5-1-09	0.5	0.45574713	0.36290323	0.15	0.373065663
6-1-09	0.46153846	0.39942529	0.19354839	0.127777778	0.319949812
7-1-09	0	0	0	0	0
8-1-09	0.49128205	0.49310345	0.38709677	0.144444444	0.400669176
9-1-09	0.39333333	0.32873563	0.20967742	0.311111111	0.296946884
10-1-09	0.5	0.49827586	0.39516129	0.163888889	0.407779172
11-1-09	0.40615385	0.39712644	0.31451613	0.127777778	0.324550397
12-1-09	0.45282051	0.4545977	0.32258065	0.119444444	0.365537432
13-1-09	0.41846154	0.42298851	0.20967742	0.077777778	0.330405688
14-1-09	0.41435897	0.36206897	0.21774194	0.083333333	0.287327478
15-1-09	0.46564103	0.45632184	0.35483871	0.15	0.373065663
16-1-09	0.50410256	0.45574713	0.27419355	0.055555556	0.354245086
17-1-09	0.3974359	0.36206897	0.24193548	0.072222222	0.286909243
18-1-09	0.49589744	0.51091954	0.31451613	0.083333333	0.400669176
19-1-09	0.48717949	0.45977011	0.32258065	0.458333333	0.420326223
20-1-09	0.44461538	0.43678161	0.24193548	0.086111111	0.343370974
21-1-09	0.47025641	0.47873563	0.24193548	0.097222222	0.375575073
22-1-09	0	0	0	0	0
23-1-09	0.49128205	0.48045977	0.37903226	0.155555556	0.39272271
24-1-09	0.47897436	0.45344828	0.35483871	0.147222222	0.370556253
26-1-09	0	0	0	0	0

27-1-09	0	0	0	0	0
28-1-09	0	0	0	0	0
29-1-09	0.15384615	0.15804598	0.12903226	0.069444444	0.132162275
30-1-09	0.56410256	0.48103448	0.37096774	0.438888889	0.435382685
31-1-09	0.93179487	0.85287356	0.52419355	0.211111111	0.679631953
1-2-09	0.48717949	0.46206897	0.28225806	0.119444444	0.368883312
2-2-09	0.47025641	0.4454023	0.35483871	0.144444444	0.364282727
3-2-09	0.43589744	0.39137931	0.30645161	0.127777778	0.319949812
4-2-09	0.44410256	0.39885057	0.31451613	0.130555556	0.326223338
5-2-09	0.48717949	0.45172414	0.27419355	0.097222222	0.357590966
6-2-09	0.5	0.4545977	0.27419355	0.147222222	0.367210372
7-2-09	0.5	0.50344828	0.32258065	0.163888889	0.407779172
8-2-09	0.48307692	0.43850575	0.27419355	0.141666667	0.354663321
9-2-09	0.5	0.46264368	0.28225806	0.105555556	0.367210372
10-2-09	0.43589744	0.43103448	0.33870968	0.138888889	0.35215391
11-2-09	0.98307692	1	0.83870968	0.744444444	0.883312422
12-2-09	0.58564103	0.52643678	0.43548387	0.558333333	0.489753241
13-2-09	0.46153846	0.46149425	0.24193548	0.111111111	0.365119197
14-2-09	0.88871795	0.84712644	0.40322581	0.194444444	0.666666667
15-2-09	0.97435897	0.90229885	0.52419355	0.208333333	0.715181932
16-2-09	0.90615385	0.82643678	0.48387097	0.194444444	0.655792555
17-2-09	1	0.92068966	0.52419355	0.244444444	0.734002509
18-2-09	0.38	0.36149425	0.20967742	0.077777778	0.285654538
19-2-09	0.12410256	0.13103448	0.05645161	0.033333333	0.103304057
20-2-09	0	0	0	0	0
21-2-09	0	0	0	0	0
22-2-09	0.55538462	0.45517241	0.27419355	0.1	0.360518611
23-2-09	0.54717949	0.67643678	0.38709677	0.152777778	0.535340862
24-2-09	0.68769231	0.68275862	0.40322581	0.161111111	0.542032622

25-2-09	0.47897436	0.44195402	0.28225806	0.1	0.35131744
26-2-09	0.20512821	0.2316092	0.14516129	0.052777778	0.184023421
27-2-09	0	0	0	0	0
28-2-09	0	0	0	0	0
1-3-09	0	0	0	0	0
2-3-09	0.40153846	0.42988506	0.26612903	0.113888889	0.34378921
3-3-09	0.5	0.54252874	0.32258065	0.113888889	0.428690924
4-3-09	0.4574359	0.49770115	0.32258065	0.077777778	0.390631535
5-3-09	0.5	0.49195402	0.29032258	0.130555556	0.39272271
6-3-09	0.53846154	0.5137931	0.2983871	0.111111111	0.406106232
7-3-09	0.57692308	0.5316092	0.33064516	0.125	0.422835634
8-3-09	0.57282051	0.54137931	0.34677419	0.108333333	0.428272689
9-3-09	0.44	0.34827586	0.30645161	0.111111111	0.286072773
10-3-09	0.44871795	0.34885057	0.40322581	0.472222222	0.345880385
11-3-09	0.85435897	0.69827586	0.78225806	0.5	0.624006692
12-3-09	0.44871795	0.35172414	0.34677419	0.116666667	0.291509829
13-3-09	0.98717949	0.74712644	0.61290323	0.213888889	0.607695525
14-3-09	0.88923077	0.69827586	0.51612903	0.180555556	0.562107905
15-3-09	0.94871795	0.8	0.69354839	0.197222222	0.64784609
16-3-09	0.93128205	0.79597701	0.52419355	0.236111111	0.641990799
18-3-09	0	0	0	0	0
19-3-09	0.35897436	0.32643678	0.23387097	0.097222222	0.26432455
20-3-09	0.5	0.45977011	0.33870968	0.119444444	0.370138018
21-3-09	0.5	0.45	0.36290323	0.561111111	0.4307821
22-3-09	0.86769231	0.77988506	0.53225806	0.561111111	0.679631953
23-3-09	0.5	0.48563218	0.25806452	0.133333333	0.386867419
24-3-09	0.48717949	0.42126437	0.24193548	0.116666667	0.336679214
25-3-09	0.48307692	0.42356322	0.28225806	0.119444444	0.340861564
26-3-09	0.76923077	0.69195402	0.5483871	0.216666667	0.564617315

27-3-09	0.92307692	0.84770115	0.54032258	0.227777778	0.679213718
28-3-09	0.36769231	0.32011494	0.25806452	0.15	0.268925136
29-3-09	0.79487179	0.67528736	0.56451613	0.530555556	0.600585529
30-3-09	0.02564103	0.02068966	0.01612903	0.005555556	0.016729402
31-3-09	0	0	0	0	0
1-4-09	0	0	0	0	0
2-4-09	0	0	0	0	0
3-4-09	0.43179487	0.38850575	0.29032258	0.105555556	0.313676286
4-4-09	0.97435897	0.84885057	0.62903226	0.236111111	0.685905479
5-4-09	0.77333333	0.72758621	0.50806452	0.197222222	0.585529067
6-4-09	0.95333333	0.90172414	0.86290323	0.608333333	0.792555416
7-4-09	0.49538462	0.45977011	0.30645161	0.116666667	0.368046842
8-4-09	0.64512821	0.64195402	0.4516129	0.158333333	0.514429109
9-4-09	0.31230769	0.25057471	0.27419355	0.055555556	0.204935174
10-4-09	0.88461538	0.76436782	0.57258065	0.163888889	0.61062317
11-4-09	0.88461538	0.8091954	0.56451613	0.2	0.648264325
12-4-09	0.85025641	0.74310345	0.78225806	0.694444444	0.685905479
13-4-09	0.79487179	0.76494253	0.5483871	0.175	0.61145964
14-4-09	0.33333333	0.30689655	0.27419355	0.088888889	0.250941029
15-4-09	0.46153846	0.42183908	0.28225806	0.127777778	0.340861564
16-4-09	0.3974359	0.35977011	0.25	0.105555556	0.290673358
17-4-09	0.82923077	0.77471264	0.60483871	0.602777778	0.685905479
18-4-09	0.48717949	0.46091954	0.30645161	0.125	0.370138018
19-4-09	0.5	0.47816092	0.32258065	0.138888889	0.385612714
20-4-09	0	0	0	0	0
21-4-09	0.36307692	0.35344828	0.39516129	0.083333333	0.290255123
22-4-09	0.46564103	0.41436782	0.45967742	0.108333333	0.341698034
23-4-09	0.43589744	0.38850575	0.43548387	0.097222222	0.319949812
24-4-09	0.46153846	0.40517241	0.4516129	0.136111111	0.338770389

25-4-09	0.32923077	0.28908046	0.32258065	0.097222222	0.241739858
26-4-09	0	0	0	0	0
27-4-09	0	0	0	0	0
28-4-09	0.48307692	0.42413793	0.47580645	0.141666667	1
29-4-09	1	0.90804598	0.56451613	0.291666667	0.065662903
30-4-09	0.52102564	0.41954023	0.28225806	0.136111111	0.340443329
1-5-09	0	0	0	0	0
2-5-09	0.34615385	0.31091954	0.24193548	0.1	0.253868674
3-5-09	0.30358974	0.27701149	0.18548387	0.077777778	0.222919281
4-5-09	0.26923077	0.2591954	0.21774194	0.277777778	0.241739858
5-5-09	0.29487179	0.27298851	0.21774194	0.361111111	0.26432455
6-5-09	0.50410256	0.55804598	0.40322581	0.166666667	0.452112087
7-5-09	0.42717949	0.38965517	0.2983871	0.097222222	0.313676286
8-5-09	0.3974359	0.39252874	0.30645161	0.108333333	0.317858637
9-5-09	0.47435897	0.46954023	0.36290323	0.125	0.379339189
10-5-09	0.44871795	0.40804598	0.31451613	0.108333333	0.329569218
11-5-09	0.46153846	0.45977011	0.35483871	0.105555556	0.368883312
13-5-09	0	0	0	0	0
15-5-09	0.67948718	0.67758621	0.53225806	0.222222222	0.554161439
16-5-09	0.30769231	0.30689655	0.24193548	0.1	0.250941029
17-5-09	0	0	0	0	0
19-5-09	0	0	0	0	0
20-5-09	0.48717949	0.48045977	0.37903226	0.133333333	0.38937683
21-5-09	0.47846154	0.43390805	0.32258065	0.125	0.35131744
22-5-09	0.91025641	0.75	0.56451613	0.222222222	0.608531995
23-5-09	1	0.80632184	0.62903226	0.219444444	0.652446675
24-5-09	0.54307692	0.44770115	0.34677419	0.125	0.362609787
25-5-09	0.67948718	0.6183908	0.50806452	0.466666667	0.546633208
26-5-09	0.3974359	0.33218391	0.25806452	0.097222222	0.269761606

27-5-09	0.44871795	0.39712644	0.30645161	0.108333333	0.321204517
28-5-09	0.75230769	0.68390805	0.47580645	0.177777778	0.549142618
29-5-09	0.74358974	0.67528736	0.52419355	0.186111111	0.546633208
30-5-09	0.94410256	0.90747126	0.70967742	0.25	0.73483898
31-5-09	0.51282051	0.46494253	0.36290323	0.127777778	0.376411543
1-6-09	0.42717949	0.45977011	0.38709677	0.533333333	0.43496445
2-6-09	0.77333333	0.68678161	0.56451613	0.491666667	0.603094939
3-6-09	0.06871795	0.05517241	0.04032258	0.013888889	0.044332915
4-6-09	0.16666667	0.13333333	0.12096774	0.036111111	0.108741113
5-6-09	0	0	0	0	0
6-6-09	0.40153846	0.32816092	0.21774194	0.077777778	0.26181514
7-6-09	0.41897436	0.34367816	0.21774194	0.080555556	0.273525721
8-6-09	0.85897436	0.70862069	0.54032258	0.111111111	0.560434964
9-6-09	0.48717949	0.44310345	0.33870968	0.116666667	0.357590966
10-6-09	0.91025641	0.73850575	0.56451613	0.180555556	0.593893768
11-6-09	0.75641026	0.64712644	0.53225806	0.172222222	0.52446675
12-6-09	0.42307692	0.36551724	0.37903226	0.35	0.338352154
13-6-09	0.32051282	0.29655172	0.24193548	0.080555556	0.240485153
14-6-09	0.85487179	0.6816092	0.58064516	0.208333333	0.557507319
15-6-09	0.70512821	0.63333333	0.5	0.205555556	0.51777499
16-6-09	0.5	0.39885057	0.31451613	0.130555556	0.326223338
17-6-09	0.06	0.05402299	0.04032258	0.016666667	0.04391468
18-6-09	0.26512821	0.21091954	0.16935484	0.066666667	0.17231284
19-6-09	0.69230769	0.62298851	0.56451613	0.169444444	0.508155583
20-6-09	0.89282051	0.77873563	0.61290323	0.252777778	0.636553743
21-6-09	0.95692308	0.88505747	0.80645161	0.238888889	0.721873693
22-6-09	0.71794872	0.63505747	0.66129032	0.183333333	0.524048515
23-6-09	0.27333333	0.25747126	0.26612903	0.291666667	0.245085738
24-6-09	0.44	0.34195402	0.25806452	0.091666667	0.322877457

25-6-09	0.37641026	0.34195402	0.25806452	0.091666667	0.276035132
26-6-09	0.47025641	0.42758621	0.32258065	0.113888889	0.345043915
27-6-09	1	0.90977011	0.68548387	0.241666667	0.734002509
28-6-09	0.12358974	0.09827586	0.08064516	0.030555556	0.080301129
29-6-09	0.41025641	0.37011494	0.32258065	0.1	0.301129235
30-6-09	0	0	0	0	0
1-7-09	0	0	0	0	0
2-7-09	0.40564103	0.36551724	0.32258065	0.097222222	0.297365119
3-7-09	0.40615385	0.28735632	0.27419355	0.077777778	0.235048097
4-7-09	0.40153846	0.32643678	0.29032258	0.083333333	0.26516102
5-7-09	0.41435897	0.31034483	0.29032258	0.083333333	0.253450439
6-7-09	0.35487179	0.31896552	0.2983871	0.086111111	0.260560435
7-7-09	0.12820513	0.12643678	0.16129032	0.138888889	0.121288164
8-7-09	0.10666667	0.10287356	0.11290323	0.102777778	0.096194061
9-7-09	0.59384615	0.52298851	0.66935484	0.138888889	0.436219155
10-7-09	0	0	0	0	0
11-7-09	0.22666667	0.20344828	0.16129032	0.066666667	0.166457549
12-7-09	0.35487179	0.3183908	0.25	0.102777778	0.2601422
13-7-09	0.15384615	0.13793103	0.12903226	0.038888889	0.112923463
14-7-09	0.38051282	0.33793103	0.27419355	0.127777778	0.279381012
15-7-09	0.3974359	0.35804598	0.33870968	0.097222222	0.292764534
16-7-09	0.38051282	0.34137931	0.32258065	0.091666667	0.278962777
17-7-09	0.5	0.44885057	0.42741935	0.122222222	0.367210372
18-7-09	0.50871795	0.45689655	0.43548387	0.125	0.373902133
19-7-09	0.32923077	0.30517241	0.29032258	0.083333333	0.249686324
20-7-09	0.35025641	0.31724138	0.24193548	0.1	0.25846926
21-7-09	0	0	0	0	0
22-7-09	0.49589744	0.49827586	0.46774194	0.136111111	0.407360937
23-7-09	0.45282051	0.41206897	0.38709677	0.111111111	0.336679214

24-7-09	0.49179487	0.40977011	0.38709677	0.527777778	0.397741531
25-7-09	0.96564103	0.87643678	0.82258065	0.236111111	0.716018402
26-7-09	0.46564103	0.4183908	0.39516129	0.113888889	0.342116269
27-7-09	0.91435897	0.82068966	0.77419355	0.222222222	0.670849017
28-7-09	0	0	0	0	0
29-7-09	0	0	0	0	0
30-7-09	0	0	0	0	0
31-7-09	0	0	0	0	0
1-8-09	0	0	0	0	0
2-8-09	0	0	0	0	0
3-8-09	0	0	0	0	0
4-8-09	0.42717949	0.38103448	0.41935484	0.097222222	0.313676286
6-8-09	0	0	0	0	0
7-8-09	0	0	0	0	0
8-8-09	0	0	0	0	0
9-8-09	0	0	0	0	0
10-8-09	0	0	0	0	0
11-8-09	0.41025641	0.36609195	0.41129032	0.111111111	0.304475115
12-8-09	0.85897436	0.76206897	0.86290323	0.252777778	0.637390213
13-8-09	0.5	0.44252874	0.5	0.147222222	0.370138018
14-8-09	1	0.89022989	1	0.280555556	0.741948975
15-8-09	0.90153846	0.79942529	0.89516129	0.25	0.665830197
16-8-09	0.45282051	0.39712644	0.4516129	0.133333333	0.332496863
17-8-09	0.44	0.41206897	0.46774194	0.136111111	0.34462568
18-8-09	1	0.89195402	0.99193548	0.222222222	0.734002509
19-8-09	0.50871795	0.45689655	0.44354839	0.119444444	0.373483898
20-8-09	0.65384615	0.55229885	0.55645161	0.680555556	0.533249686
21-8-09	0.80769231	0.68505747	0.49193548	0.208333333	0.555416144
22-8-09	0.96564103	0.87931034	0.70967742	0.213888889	0.708908407

23-8-09	0.17948718	0.1637931	0.12096774	0.041666667	0.13174404
24-8-09	0.81641026	0.73045977	0.48387097	0.194444444	0.585947302
25-8-09	0.99589744	0.90229885	0.83064516	0.208333333	0.731074864
26-8-09	0.08564103	0.07701149	0.06451613	0.022222222	0.062735257
27-8-09	0	0	0	0	0
28-8-09	0.5	0.44885057	0.35483871	0.147222222	0.367210372
29-8-09	0.98307692	0.88275862	0.68548387	0.288888889	0.721455458
31-8-09	0	0	0	0	0
1-9-09	0	0	0	0	0
2-9-09	0	0	0	0	0
3-9-09	0	0	0	0	0
4-9-09	0	0	0	0	0
5-9-09	0	0	0	0	0
6-9-09	0.40205128	0.36034483	0.28225806	0.116666667	0.294437474
7-9-09	0.72205128	0.64827586	0.50806452	0.211111111	0.529903806
9-9-09	0	0	0	0	0
10-9-09	0.88051282	0.79770115	0.56451613	0.216666667	0.642409034
11-9-09	0.71794872	0.65114943	0.50806452	0.177777778	0.526976161
12-9-09	0.64512821	0.58218391	0.4516129	0.175	0.473442074
13-9-09	0.32461538	0.29425287	0.22580645	0.083333333	0.238393977
14-9-09	0.37589744	0.34195402	0.26612903	0.088888889	0.276035132
15-9-09	0.46564103	0.4183908	0.39516129	0.111111111	0.341698034
16-9-09	0.71384615	0.57011494	0.54032258	0.152777778	0.465913844
17-9-09	0.17076923	0.15172414	0.16935484	0.041666667	0.125470514
18-9-09	0.47435897	0.42241379	0.4516129	0.116666667	0.348389795
19-9-09	0.34615385	0.30747126	0.34677419	0.083333333	0.254286909
20-9-09	0.45282051	0.40172414	0.4516129	0.111111111	0.332496863
21-9-09	0.29076923	0.24022989	0.41129032	0.113888889	0.213299875
22-9-09	0.26923077	0.20287356	0.33870968	0.069444444	0.17565872

23-9-09	0.49128205	0.42356322	0.56451613	0.525	0.416562108
24-9-09	0.77384615	0.61494253	0.77419355	0.591666667	0.576746131
25-9-09	0	0	0	0	0
26-9-09	0.47435897	0.41666667	0.46774194	0.138888889	0.348389795
27-9-09	0.62410256	0.54770115	0.62096774	0.183333333	0.458385613
28-9-09	0.29487179	0.23448276	0.25806452	0.055555556	0.192388122
29-9-09	0.82923077	0.70229885	0.72580645	0.172222222	0.574654956
30-9-09	0.82871795	0.69425287	0.70967742	0.477777778	0.613969051
1-10-09	0.71794872	0.66436782	0.7016129	0.588888889	0.608531995
2-10-09	0.33333333	0.26896552	0.20967742	0.072222222	0.217482225
5-10-09	0	0	0	0	0
6-10-09	0.5	0.44885057	0.42741935	0.122222222	0.367210372
7-10-09	0.98717949	0.68965517	0.65322581	0.055555556	0.563780845
8-10-09	0.64974359	0.58333333	0.5483871	0.545454545	0.476787955
9-10-09	0.35897436	0.25057471	0.2016129	0.230587121	0.204935174
10-10-09	0.29076923	0.23218391	0.18548387	0.213541667	0.189878712
11-10-09	0.46564103	0.37126437	0.29032258	0.340435606	0.303638645
12-10-09	0.79897436	0.73103448	0.52419355	0.665246212	0.586365537
13-10-09	0.5425641	0.48678161	0.38709677	0.447443182	0.398159766
14-10-09	0.9574359	0.85	0.80645161	0.782670455	0.702634881
15-10-09	0.8974359	0.80517241	0.63709677	0.740530303	0.658720201
16-10-09	0.16666667	0.14655172	0.12096774	0.135416667	0.122542869
17-10-09	0.44461538	0.4	0.31451613	0.366950758	0.326223338
18-10-09	0.94871795	0.86321839	0.66935484	0.785984848	0.696361355
19-10-09	0.78615385	0.71321839	0.5483871	0.653409091	0.570472606
20-10-09	0.77333333	0.69597701	0.47580645	0.658333333	0.643245504
21-10-09	0	0	0	0	0
22-10-09	0.57692308	0.5045977	0.30645161	0.111111111	0.399832706
23-10-09	0.50410256	0.35977011	0.27419355	0.077777778	0.287745713

24-10-09	0.63692308	0.4637931	0.28225806	0.122222222	0.370556253
25-10-09	0.90615385	0.65114943	0.39516129	0.152777778	0.517356754
26-10-09	0.94461538	0.88563218	0.56451613	0.944444444	0.815976579
27-10-09	0.77794872	0.71321839	0.47580645	0.5	0.618987871
28-10-09	0.38051282	0.35229885	0.21774194	0.077777778	0.279381012
29-10-09	0.5	0.45977011	0.34677419	0.097222222	0.367210372
30-10-09	0.76871795	0.70632184	0.5483871	0.147222222	0.564617315
31-10-09	0.44	0.39367816	0.36290323	0.475	0.376829778
1-11-09	0.49589744	0.45517241	0.35483871	0.094444444	0.363864492
2-11-09	0	0	0	0	0
3-11-09	0	0	0	0	0
4-11-09	0	0	0	0	0
5-11-09	0.22205128	0.2	0.15322581	0.063888889	0.163111669
6-11-09	0.86307692	0.78390805	0.69354839	0.183333333	0.634044333
7-11-09	0.82923077	0.74425287	0.58870968	0.241666667	0.608531995
8-11-09	0.50410256	0.45344828	0.41935484	0.122222222	0.370138018
9-11-09	0.51692308	0.45287356	0.58870968	0.508333333	0.43663739
10-11-09	0.37589744	0.31781609	0.29032258	0.358333333	0.300292765
11-11-09	0	0	0	0	0
12-11-09	0.41025641	0.36436782	0.40322581	0.1	0.301129235
13-11-09	0.56820513	0.5045977	0.48387097	0.166666667	0.417398578
14-11-09	0.24358974	0.21436782	0.24193548	0.247222222	0.205771644
15-11-09	0	0	0	0	0
16-11-09	0	0	0	0	0
17-11-09	0	0	0	0	0
18-11-09	0	0	0	0	0
19-11-09	0	0	0	0	0
20-11-09	0	0	0	0	0
21-11-09	0	0	0	0	0

22-11-09	0	0	0	0	0
23-11-09	0	0	0	0	0
24-11-09	0	0	0	0	0
25-11-09	0	0	0	0	0
26-11-09	0	0	0	0	0
27-11-09	0.29487179	0.26609195	0.24193548	0.069444444	0.216645755
28-11-09	0.26051282	0.23505747	0.19354839	0.066666667	0.191133417
29-11-09	0	0	0	0	0
30-11-09	0.66307692	0.61954023	0.60483871	0.277777778	0.524048515
1-12-09	0.76923077	0.76551724	0.87096774	1	0.752823087
2-12-09	0.51692308	0.4637931	0.4516129	0.194444444	0.3902133
3-12-09	0.78615385	0.70574713	0.55645161	0.230555556	0.577164366
4-12-09	0.5	0.44885057	0.35483871	0.147222222	0.367210372
5-12-09	0.52153846	0.4683908	0.37096774	0.152777778	0.383103304
6-12-09	0.82461538	0.74022989	0.58064516	0.241666667	0.605186115
7-12-09	0.49128205	0.45402299	0.42741935	0.586111111	0.440819741
8-12-09	0.94410256	0.90344828	0.79032258	0.783333333	0.816394814
9-12-09	0.81641026	0.75344828	0.45967742	0.180555556	0.599330824
10-12-09	0.52974359	0.4862069	0.2983871	0.127777778	0.38854036
11-12-09	0.49589744	0.4045977	0.25	0.108333333	0.323713927
12-12-09	0	0	0	0	0
13-12-09	0.47025641	0.38505747	0.23387097	0.097222222	0.306984525
15-12-09	0	0	0	0	0
16-12-09	0	0	0	0	0
17-12-09	0	0	0	0	0
18-12-09	0.45333333	0.38045977	0.35483871	0.491666667	0.369301547
19-12-09	0.64512821	0.56666667	0.38709677	0.483333333	0.505227938
20-12-09	0.94461538	0.86724138	0.53225806	0.230555556	0.69343371
21-12-09	0.33333333	0.30862069	0.15322581	0.172222222	0.25846926

23-12-09	0	0	0	0	0
24-12-09	0	0	0	0	0
25-12-09	0	0	0	0	0
26-12-09	0.15384615	0.13678161	0.08870968	0.058333333	0.112923463
27-12-09	1	0.88735632	0.57258065	0.388888889	0.734002509
28-12-09	0.42717949	0.40229885	0.46774194	0.091666667	0.330823923
29-12-09	0.13692308	0.13505747	0.16129032	0.033333333	0.111668758
30-12-09	0.42769231	0.40114943	0.35483871	0.419444444	0.373483898
31-12-09	0.38051282	0.35632184	0.32258065	0.35	0.328732748

Anexo2: Entradas de la RNA (5-20-1) perteneciente al molino de cemento 2.

Fecha	TTrabajo	Clínker	Yeso	Puzolana	Cemento
1-1-09	0	0	0	0	0
2-1-09	0.8167432	0.58001226	0.34426229	0.13265306	0.49382716
3-1-09	0.7187340	0.55180870	0.32786885	0.12755102	0.47008547
4-1-09	0.6891271	0.52176578	0.36885245	0.125	0.44871794
5-1-09	0.4977029	0.47884733	0.36065573	0.13520408	0.41690408
6-1-09	0.4466564	0.38994481	0.18032786	0.10714285	0.33238366
7-1-09	0	0	0	0	0
8-1-09	0.4808575	0.46597179	0.34426229	0.11734693	0.40265906
9-1-09	0.5528330	0.48129981	0.36065573	0.27040816	0.44396961
10-1-09	0.4890250	0.52299202	0.39344262	0.14540816	0.45489078
11-1-09	0.4379785	0.44451256	0.33606557	0.125	0.38698955
12-1-09	0.4042879	0.40282035	0.27868852	0.09183673	0.34520417
13-1-09	0.4466564	0.43041079	0.22950819	0.07653061	0.36087369
14-1-09	0.3404798	0.28448804	0.18852459	0.06377551	0.24311491
15-1-09	0.4680959	0.47516860	0.36065573	0.13265306	0.41358024
16-1-09	0.5063808	0.42060085	0.24590163	0.07397959	0.35375118

17-1-09	0.4680959	0.40711220	0.25409836	0.08928571	0.34662868
18-1-09	0.4762634	0.48743102	0.28688524	0.07142857	0.40740740
19-1-09	0.4808575	0.45248313	0.31147541	0.39540816	0.44207027
20-1-09	0.4594180	0.43838136	0.22950819	0.08163265	0.36799620
21-1-09	0.4507401	0.45984058	0.24590163	0.08163265	0.38556505
22-1-09	0.4977029	0.56529736	0.31147541	0.10204081	0.47483380
23-1-09	0.5232261	0.52299202	0.39344262	0.14795918	0.45489078
24-1-09	0.3956100	0.35928878	0.27049180	0.10204081	0.31291548
25-1-09	0.4466564	0.38197424	0.28688524	0.10714285	0.33238366
26-1-09	0.4936191	0.51440833	0.38524590	0.14540816	0.44776828
27-1-09	0.4594180	0.54015941	0.40983606	0.15051020	0.47008547
29-1-09	0.4721796	0.49846719	0.37704918	0.16836734	0.43922127
30-1-09	0.4425727	0.38994481	0.28688524	0.31377551	0.49430199
31-1-09	0.4461459	0.42611894	0.27049180	0.09693877	0.77160493
1-2-09	0.4849413	0.45861434	0.25409836	0.09948979	0.38841405
2-2-09	0.4721796	0.42918454	0.31967213	0.11989795	0.37321937
3-2-09	0.4083716	0.36419374	0.27049180	0.10204081	0.31671415
4-2-09	0.4379785	0.41446965	0.31147541	0.11479591	0.36039886
5-2-09	0.4042879	0.2654813	0.15573770	0.05867346	0.22554605
6-2-09	0.5063808	0.27345187	0.15573770	0.07908163	0.23551756
7-2-09	0.4977029	0.45677498	0.27868852	0.12755102	0.39363722
8-2-09	0.4721796	0.40833844	0.24590163	0.11224489	0.35137701
9-2-09	0.4808575	0.37155119	0.20491803	0.07142857	0.31291548
10-2-09	0.1020929	0.09748620	0.07377049	0.02806122	0.08499525
11-2-09	0	0	0	0	0
12-2-09	0.5104645	0.50091968	0.31147541	0.21938775	0.44681861
13-2-09	0.2169474	0.21336603	0.10655737	0.04336734	0.17948717
14-2-09	0.4420622	0.39178418	0.20491803	0.07653061	0.32953466
15-2-09	0.6636038	0.58859595	0.28688524	0.11479591	0.49382716

16-2-09	0.5400714	0.41508277	0.23770491	0.08928571	0.35185185
17-2-09	0.3741705	0.28694052	0.16393442	0.06377551	0.24358974
18-2-09	0.7998979	0.71489883	0.41803278	0.16326530	0.60826210
19-2-09	0.4680959	0.48865726	0.24590163	0.46428571	0.47910731
20-2-09	0.9571209	1	0.68032786	1	1
21-2-09	0.9913221	0.85836909	0.47540983	0.16581632	0.72317189
22-2-09	0.9954058	0.72716125	0.35245901	0.11479591	0.60493827
23-2-09	0.0469627	0.05640711	0.03278688	0.01275510	0.04795821
24-2-09	0	0	0	0	0
25-2-09	0	0	0	0	0
26-2-09	0.3486472	0.37829552	0.26229508	0.08673469	0.32431149
27-2-09	0.4977029	0.54874310	0.53278688	0.53571428	0.55555555
28-2-09	0.4890250	0.48436542	0.45081967	0.47193877	0.48907882
1-3-09	0.4721796	0.45984058	0.39344262	0.43367346	0.45963912
2-3-09	0	0	0	0	0
4-3-09	0.4512506	0.48743102	0.33606557	0.11479591	0.41832858
5-3-09	0.9443593	0.99019006	0.50819672	0.17857142	0.82953466
6-3-09	0.4298111	0.40282035	0.26229508	0.08418367	0.34283000
7-3-09	0.1020929	0.09809932	0.06557377	0.02295918	0.08404558
8-3-09	0.5487493	0.57081545	0.34426229	0.11479591	0.48338081
9-3-09	0.4466564	0.37952176	0.30327868	0.10204081	0.33048433
10-3-09	0.4466564	0.37339055	0.38524590	0.43877551	0.39316239
11-3-09	0.9438489	0.82464745	0.90163934	0.51020408	0.78584995
12-3-09	0.4298111	0.35928878	0.32786885	0.08928571	0.31386514
13-3-09	0.3996937	0.30042918	0.22950819	0.08163265	0.26115859
14-3-09	0.3828483	0.30042918	0.22131147	0.06887755	0.25830959
15-3-09	0.4721796	0.40956468	0.31147541	0.07653061	0.34947768
16-3-09	0.4635017	0.45003065	0.27049180	0.12244898	0.38698955
17-3-09	0.2766717	0.2654813	0.20491803	0.07653061	0.23171889

18-3-09	0	0	0	0	0
19-3-09	0	0	0	0	0
20-3-09	0.6038795	0.63519313	0.40163934	0.12755102	0.53893637
21-3-09	0.4977029	0.49049662	0.34426229	0.55612244	0.50332383
22-3-09	0.8550280	0.83690987	0.54098360	0.52806122	0.77777777
23-3-09	0	0	0	0	0
24-3-09	0	0	0	0	0
25-3-09	0.2343032	0.20232985	0.12295082	0.05102040	0.17331434
26-3-09	0.5870342	0.52912323	0.39344262	0.13775510	0.45821462
27-3-09	0.4890250	0.48681790	0.31967213	0.11734693	0.41737891
28-3-09	0.9060745	0.88963825	0.56557377	0.22959183	0.76448243
29-3-09	0.5574272	0.53218884	0.39344262	0.20663265	0.47340930
30-3-09	0.4037774	0.32801962	0.28688524	0.07653061	0.28490028
31-3-09	0.3700867	0.33108522	0.29508196	0.06122449	0.28490028
1-4-09	0.0765696	0.06560392	0.04918032	0.01785714	0.05698005
4-4-09	0.1659009	0.13733905	0.09836065	0.03571428	0.11870845
6-4-09	0	0	0	0	0
7-4-09	0	0	0	0	0
8-4-09	0	0	0	0	0
9-4-09	0	0	0	0	0
10-4-09	0.5911179	0.51502145	0.32786885	0.10714285	0.43779677
11-4-09	0.5997958	0.48927038	0.32786885	0.10714285	0.41785375
12-4-09	0.8254211	0.74187615	0.73770491	0.56122449	0.72174738
13-4-09	0.7018887	0.69405272	0.53278688	0.125	0.59164292
14-4-09	0.4252169	0.40404659	0.33606557	0.10204081	0.35137701
15-4-09	0.4977029	0.47639485	0.37704918	0.13265306	0.41547958
16-4-09	0.4252169	0.42121397	0.28688524	0.10969387	0.36324786
17-4-09	0.7912200	0.80686695	0.57377049	0.50510204	0.75213675
18-4-09	0.4594180	0.44206008	0.28688524	0.10714285	0.37891737

19-4-09	0	0	0	0	0
20-4-09	0.4680959	0.46351931	0.28688524	0.10714285	0.39553656
21-4-09	0	0	0	0	0
22-4-09	0.4977029	0.50091968	0.52459016	0.11479591	0.43969610
23-4-09	0.4170495	0.41876149	0.44262295	0.09693877	0.36799620
25-4-09	0	0	0	0	0
26-4-09	0.3910158	0.36848559	0.39344262	0.10459183	0.32763532
27-4-09	0.4384890	0.46781115	0.40983606	0.55357142	0.48907882
28-4-09	0.4635017	0.36051502	0.46721311	0.43877551	0.38793922
29-4-09	0.4512506	0.36419374	0.28688524	0.42602040	0.37796771
30-4-09	0.3654926	0.39914163	0.24590163	0.08928571	0.33998100
1-5-09	0	0	0	0	0
2-5-09	0.3190403	0.31146535	0.21311475	0.07397959	0.26733143
3-5-09	0.302195	0.29552421	0.19672131	0.06887755	0.25308642
4-5-09	0	0	0	0	0
5-5-09	0.1618172	0.17596566	0.13934426	0.19387755	0.18043684
6-5-09	0	0	0	0	0
7-5-09	0.4721796	0.48743102	0.36065573	0.10204081	0.41737891
8-5-09	0.2169474	0.23543838	0.17213114	0.05102040	0.20180436
9-5-09	0.3445635	0.37093807	0.27868852	0.09183673	0.32051282
10-5-09	0.4083716	0.40220723	0.29508196	0.09438775	0.34615384
11-5-09	0.0296069	0.03249540	0.02459016	0.00510204	0.02754036
12-5-09	0	0	0	0	0
13-5-09	0	0	0	0	0
14-5-09	0.0296069	0.03372164	0.01639344	0.00255102	0.02754036
15-5-09	0.7105666	0.81054567	0.57377049	0	0.66096866
16-5-09	0.4083716	0.47516860	0.33606557	0	0.38746438
17-5-09	0.2552322	0.29123237	0.20491803	0	0.23741690
18-5-09	0.4293006	0.47148988	0.28688524	0.09693877	0.39981006

19-5-09	0.2343032	0.25444512	0.16393442	0.05867346	0.21747388
20-5-09	0.4037774	0.43654199	0.31967213	0.10459183	0.37606837
21-5-09	0.8591117	0.69650521	0.49180327	0.16836734	0.59924026
22-5-09	0.6253190	0.59227467	0.40983606	0.14795918	0.50997151
23-5-09	0.6722817	0.50398528	0.37704918	0.125	0.43542260
24-5-09	0.8677896	0.73206621	0.53278688	0.17091836	0.62962963
25-5-09	0.6809596	0.6873084	0.54918032	0.44132653	0.64624881
26-5-09	0.1955079	0.18454935	0.13114754	0.04591836	0.15906932
27-5-09	0.6595201	0.63212752	0.47540983	0.14795918	0.54463437
28-5-09	0.6891271	0.67443286	0.41803278	0.14285714	0.57312440
29-5-09	0.8509443	0.82280809	0.61475409	0.20408163	0.71082621
30-5-09	0.3910158	0.40649908	0.24590163	0.08928571	0.34567901
31-5-09	0.3956100	0.38565297	0.27868852	0.08928571	0.33143399
1-6-09	0.3532414	0.40465971	0.35245901	0.43877551	0.41547958
2-6-09	0	0	0	0	0
3-6-09	0.2251148	0.19435928	0.14754098	0.04846938	0.16809116
4-6-09	0.2639101	0.22746781	0.18852459	0.05102040	0.19658119
5-6-09	0.4762634	0.42121397	0.23770491	0.07653061	0.35422602
6-6-09	0.4594180	0.40282035	0.24590163	0.08418367	0.34188034
7-6-09	0.3358856	0.29552421	0.18032786	0.05612244	0.24976258
8-6-09	0.7274119	0.64316370	0.46721311	0.08673469	0.54131054
10-6-09	0.2981112	0.29061925	0.21311475	0.06632653	0.24976258
11-6-09	0.2041858	0.19190680	0.13114754	0.04336734	0.16429249
12-6-09	0.8591117	0.85039852	0.78688524	0.55357142	0.80721747
13-6-09	0.5487493	0.52176578	0.46721311	0.28826530	0.48480531
14-6-09	0.8254211	0.70570202	0.55737704	0.19132653	0.61443494
15-6-09	0.5145482	0.49601471	0.36885245	0.13775510	0.43114909
16-6-09	0.4762634	0.40711220	0.30327868	0.11479591	0.35422602
17-6-09	0.0597243	0.05763335	0.04098360	0.01530612	0.04985755

18-6-09	0	0	0	0	0
19-6-09	0.0255232	0.02452483	0.02459016	0.00510204	0.02136752
20-6-09	0.3741705	0.36051502	0.32786885	0.08418367	0.31386514
21-6-09	0.4553343	0.44206008	0.32786885	0.10459183	0.38081671
22-6-09	0.4594180	0.43776824	0.40163934	0.10969387	0.38271604
23-6-09	0.6294027	0.65665236	0.63934426	0.65051020	0.66666666
24-6-09	0.2256253	0.41079092	0.29508196	0.09438775	0.18898385
25-6-09	0.4211332	0.41079092	0.29508196	0.09438775	0.35280151
26-6-09	0.7401735	0.72654813	0.47540983	0.15816326	0.61965812
27-6-09	0	0	0	0	0
28-6-09	0	0	0	0	0
29-6-09	0.4338948	0.41753525	0.37704918	0.09693877	0.36324786
30-6-09	0	0	0	0	0
1-7-09	0.4379785	0.41937461	0.38524590	0.10459183	0.3665717
2-7-09	0.3532414	0.34150827	0.28688524	0.07908163	0.29582146
3-7-09	0.3573251	0.27222562	0.22950819	0.06377551	0.23599240
4-7-09	0.3445635	0.30472103	0.26229508	0.06887755	0.26400759
5-7-09	0.3486472	0.28080931	0.22950819	0.06632653	0.24311491
6-7-09	0.4042879	0.38994481	0.35245901	0.08673469	0.33855650
7-7-09	0.4594180	0.48681790	0.56557377	0.48469387	0.5
8-7-09	0.1786625	0.18638871	0.19672131	0.18367346	0.18993352
9-7-09	0	0	0	0	0
10-7-09	0	0	0	0	0
11-7-09	0.4298111	0.41324340	0.31147541	0.11479591	0.35944919
12-7-09	0.3956100	0.38074800	0.28688524	0.10714285	0.33143399
13-7-09	0.1189382	0.11465358	0.10655737	0.02551020	0.0997151
14-7-09	0.3318019	0.28019619	0.23770491	0.08673469	0.24691358
15-7-09	0.3363961	0.31943592	0.28688524	0.07397959	0.27777777
16-7-09	0.3358856	0.32311465	0.29508196	0.07653061	0.28157644

17-7-09	0.4890250	0.44451256	0.40163934	0.10459183	0.38698955
18-7-09	0.5063808	0.48743102	0.44262295	0.11479591	0.42450142
19-7-09	0.3016845	0.29000613	0.26229508	0.06887755	0.25261158
20-7-09	0.3231240	0.30288166	0.22950819	0.09438775	0.26543209
21-7-09	0.4977029	0.53218884	0.48360655	0.125	0.46343779
22-7-09	0.4680959	0.50459840	0.45901639	0.11734693	0.43922127
23-7-09	0.8509443	0.82342121	0.74590163	0.19132653	0.71652421
24-7-09	0.4670750	0.42121397	0.37704918	0.46683673	0.43494776
25-7-09	0.9315977	0.88902513	0.81147541	0.21683673	0.77587844
26-7-09	0.3486472	0.33537706	0.30327868	0.07908163	0.29202279
27-7-09	0.9147524	0.87982832	0.79508196	0.20663265	0.76590693
28-7-09	0.5017866	0.48252605	0.44262295	0.11224489	0.42022792
29-7-09	0.6421643	0.61802575	0.54918032	0.14540816	0.53751187
30-7-09	0.3787646	0.34273451	0.34426229	0.07653061	0.29962013
1-8-09	0	0	0	0	0
2-8-09	0	0	0	0	0
3-8-09	0.1745788	0.18270999	0.19672131	0.05102040	0.16239316
4-8-09	0.6549259	0.62415695	0.65573770	0.14540816	0.54843304
5-8-09	0	0	0	0	0
6-8-09	0.2976008	0.27958307	0.30327868	0.07908163	0.24928774
7-8-09	0.9315977	0.83997547	0.89344262	0.19897959	0.73931623
8-8-09	0.5191424	0.46535867	0.5	0.11479591	0.41073124
9-8-09	0	0	0	0	0
10-8-09	0	0	0	0	0
11-8-09	0.5063808	0.47762109	0.52459016	0.12755102	0.42402659
12-8-09	0.3445635	0.32434089	0.35245901	0.09183673	0.28869895
13-8-09	0.7187340	0.67320662	0.72131147	0.19387755	0.59924026
14-8-09	0.4849413	0.40772532	0.43442623	0.10714285	0.36087369
15-8-09	0.7146503	0.58185162	0.62295082	0.16581632	0.51756885

16-8-09	0.3956100	0.33599019	0.36065573	0.09693877	0.29914529
17-8-09	0.3404798	0.32004905	0.34426229	0.09183673	0.28490028
18-8-09	0.7059724	0.67749846	0.71311475	0.13520408	0.59116809
19-8-09	0.7360898	0.69895769	0.72131147	0.17857142	0.61633428
20-8-09	0.5441551	0.49724095	0.45081967	0.51020408	0.50617284
21-8-09	0.4977029	0.48743102	0.32786885	0.10969387	0.41690408
22-8-09	0.4977029	0.48375229	0.36885245	0.11224489	0.41690408
23-8-09	0.7187340	0.69405272	0.57377049	0.16581632	0.60161443
24-8-09	0	0	0	0	0
25-8-09	0	0	0	0	0
26-8-09	0	0	0	0	0
27-8-09	0	0	0	0	0
28-8-09	0	0	0	0	0
29-8-09	0	0	0	0	0
30-8-09	0	0	0	0	0
31-8-09	0	0	0	0	0
1-9-09	0.4507401	0.45922746	0.33606557	0.125	0.39838556
2-9-09	0.5655946	0.54751686	0.38524590	0.14540816	0.47340930
3-9-09	0.8933129	0.90374003	0.65573770	0.25255102	0.78490028
4-9-09	0.7488514	0.73635806	0.54918032	0.20663265	0.64055080
5-9-09	0.9106687	0.87798896	0.65573770	0.24744898	0.76400759
6-9-09	0.3277182	0.31514408	0.23770491	0.08928571	0.27445394
7-9-09	0	0	0	0	0
8-9-09	0.8167432	0.79092581	0.59016393	0.22193877	0.68803418
9-9-09	0.7912200	0.77007970	0.56557377	0.17857142	0.66239316
10-9-09	0.9402756	0.92090741	0.61475409	0.20408163	0.78679962
11-9-09	0.6891271	0.67075413	0.49180327	0.15561224	0.57692307
12-9-09	0.2976008	0.28939301	0.21311475	0.06887755	0.24928774
13-9-09	0.3399693	0.33108522	0.23770491	0.07908163	0.28490028

14-9-09	0.3741705	0.34396076	0.26229508	0.07653061	0.29582146
15-9-09	0	0	0	0	0
16-9-09	0	0	0	0	0
17-9-09	0.0255232	0.01778050	0.02459016	0.02040816	0.01899335
18-9-09	0.6294027	0.51563458	0.57377049	0.51020408	0.52754036
19-9-09	0.4211332	0.40098099	0.41803278	0.09438775	0.35232668
20-9-09	0.2935171	0.27774371	0.29508196	0.07142857	0.24548907
21-9-09	0.4635017	0.39301042	0.63934426	0.15816326	0.37084520
22-9-09	0.4512506	0.40098099	0.63934426	0.11479591	0.36894586
24-9-09	0.4936191	0.44206008	0.47540983	0.12755102	0.39363722
1-10-09	0.6166411	0.61434702	0.63114754	0.51785714	0.60873694
2-10-09	0.4762634	0.41201716	0.30327868	0.09438775	0.35422602
3-10-09	0.8764675	0.75781729	0.56557377	0.17602040	0.65242165
4-10-09	0.1745788	0.15082771	0.11475409	0.03571428	0.13010446
6-10-09	0	0	0	0	0
7-10-09	0.4762634	0.35622317	0.31967213	0	0.31006647
8-10-09	0.1873404	0.18025751	0.16393442	0	0.15716999
9-10-09	0.3573251	0.26732066	0.20491803	0	0.23266856
10-10-	0.4977029	0.42550582	0.31967213	0	0.37037037
11-10-	0.4594180	0.39301042	0.29508196	0	0.34188034
12-10-	0.4849413	0.47455548	0.32786885	0	0.40598290
13-10-	0.7059724	0.67933783	0.50819672	0	0.59116809
14-10-	0	0	0	0	0
15-10-	0.3956100	0.38197424	0.28688524	0	0.33143399
16-10-	0.4594180	0.43225015	0.32786885	0	0.38461538
17-10-	0.3062787	0.28264868	0.21311475	0	0.24596391
18-10-	0.8422664	0.82832618	0.60655737	0	0.70512820
19-10-	0.7912200	0.77007970	0.56557377	0	0.65527065
20-10-	0.7825421	0.75352544	0.5	0.68367346	0.75023741

21-10-	0.7529351	0.72777437	0.50819672	0.76530612	0.73551756
22-10-	0.4977029	0.46719803	0.27049180	0.08673469	0.39363722
23-10-	0.4977029	0.38136112	0.27868852	0.06887755	0.32431149
25-10-	0	0	0	0	0
26-10-	0	0	0	0	0
27-10-	0	0	0	0	0
28-10-	0.4338948	0.43102391	0.25409836	0.07908163	0.36324786
29-10-	0	0	0	0	0
30-10-	0.4298111	0.39914163	0.29508196	0.07397959	0.33998100
31-10-	0.4211332	0.41446965	0.30327868	0.07653061	0.35280151
2-11-09	0	0	0	0	0
3-11-09	0	0	0	0	0
4-11-09	0	0	0	0	0
5-11-09	0.3486472	0.29797670	0.22131147	0.08418367	0.25925925
6-11-09	0.3700867	0.35990190	0.28688524	0.07908163	0.31006647
7-11-09	0.4507401	0.43347639	0.39344262	0.10204081	0.37749287
8-11-09	0.8039816	0.77375843	0.69672131	0.18112244	0.67331434
9-11-09	0.9489535	0.84794604	1	0.57653061	0.82193732
10-11-	0.7059724	0.65297363	0.56557377	0.63520408	0.65669515
11-11-	0.6253190	0.59166155	0.69672131	0.13520408	0.52374169
12-11-	0.4977029	0.47332924	0.5	0.11224489	0.41642925
13-11-	0.4680959	0.44512569	0.40983606	0.125	0.39173789
14-11-	0.3828483	0.34947884	0.36885245	0.34438775	0.35612535
15-11-	0	0	0	0	0
16-11-	0.3272077	0.31820968	0.23770491	0.07653061	0.27445394
17-11-	0.4977029	0.47332924	0.36885245	0.15561224	0.41690408
18-11-	0.9229198	0.87614960	0.69672131	0.28826530	0.77255460
19-11-	0.4977029	0.47516860	0.40983606	0.13520408	0.41690408
20-11-	0.0806533	0.07970570	0.07377049	0.02806122	0.07122507

21-11-	0	0	0	0	0
22-11-	0	0	0	0	0
23-11-	0	0	0	0	0
24-11-	0	0	0	0	0
25-11-	0	0	0	0	0
26-11-	0.8596222	0.82464745	0.90983606	0.32142857	0.75118708
27-11-	0.9188361	0.88657265	0.75409836	0.20918367	0.76923076
28-11-	0.2639101	0.25383200	0.20491803	0.06632653	0.22079772
29-11-	0	0	0	0	0
30-11-	0.5916283	0.57449417	0.53278688	0.22193877	0.51709401
1-12-09	0.6549259	0.68669527	0.74590163	0.77295918	0.71889838
2-12-09	0.5273098	0.50643776	0.46721311	0.18112244	0.45299145
3-12-09	0.6421643	0.61802575	0.46721311	0.17346938	0.53798670
4-12-09	0.5487493	0.52789699	0.39344262	0.14795918	0.45916429
5-12-09	0.6932108	0.66707541	0.5	0.18622449	0.58024691
6-12-09	1	0.96198651	0.72131147	0.27040816	0.83713200
7-12-09	0.9908116	0.97179644	0.81967213	0.80102040	0.94919278
8-12-09	0.7912200	0.82096873	0.69672131	0.67857142	0.80246913
9-12-09	0.7059724	0.69589209	0.40983606	0.15306122	0.59116809
10-12-	0.6549259	0.64438994	0.37704918	0.14795918	0.54843304
11-12-	0.5063808	0.44267320	0.26229508	0.10204081	0.37701804
12-12-	0.9954058	0.87553648	0.50819672	0.17857142	0.74074074
13-12-	0.4849413	0.42305334	0.24590163	0.10204081	0.36087369
14-12-	0.1699846	0.15695892	0.13934426	0.15306122	0.15811965
15-12-	0.8039816	0.76946658	0.48360655	0.42091836	0.70227920
16-12-	0.4762634	0.46965052	0.27868852	0.10204081	0.39886039
17-12-	0.3445635	0.35377069	0.21311475	0.09693877	0.30436847
18-12-	0.8167432	0.76149601	0.58196721	0.57397959	0.73029439
19-12-	0.4384890	0.39975475	0.27868852	0.43877551	0.40740740

20-12-	0.4553343	0.44819129	0.26229508	0.10204081	0.38129154
21-12-	0.4849413	0.46597179	0.21311475	0.22193877	0.41452991
22-12-	0.4977029	0.46842428	0.21311475	0.22448979	0.41690408
24-12-	0	0	0	0	0
25-12-	0	0	0	0	0
26-12-	0.8596222	0.81729000	0.5	0.30867346	0.71937321
27-12-	0.3996937	0.38136112	0.22950819	0.14540816	0.33570750
28-12-	0.5957121	0.59656652	0.71311475	0.125	0.52659069
29-12-	0.4808575	0.50705088	0.57377049	0.11479591	0.44729344
30-12-	0.8596222	0.86633966	0.69672131	0.44132653	0.79344729
31-12-	0.2256253	0.22624157	0.19672131	0.16071428	0.21652421

Anexo 3: Salidas de la RNA (5-25-1) perteneciente al molino de cemento 1.

Fecha	Energía	Fech	Energía	Fecha	Energía
1-1-09	0	10-2-	0.42247191	24-3-09	0.49887640
2-1-09	0.82022471	11-2-	0.96629213	25-3-09	0.494382022
3-1-09	0.96179775	12-2-	0.58651685	26-3-09	0.74606741
4-1-09	0.80898876	13-2-	0.48314606	27-3-09	0.89887640
5-1-09	0.50337078	14-2-	0.90786516	28-3-09	0.36629213
6-1-09	0.47865168	15-2-	0.97303370	29-3-09	0.79550561
7-1-09	0	16-2-	0.90786516	30-3-09	0.02471910
8-1-09	0.49213483	17-2-	0.97528089	31-3-09	0
9-1-09	0.40224719	18-2-	0.38651685	1-4-09	0
10-1-09	0.49438202	19-2-	0.13035955	2-4-09	0
11-1-09	0.42696629	20-2-	0	3-4-09	0.43146067
12-1-09	0.46741573	21-2-	0	4-4-09	0.97528089
13-1-09	0.40898876	22-2-	0.54606741	5-4-09	0.8
14-1-09	0.41797752	23-2-	0.53707865	6-4-09	0.93932584

15-1-09	0.46966292	24-2-	0.68314606	7-4-09	0.48988764
16-1-09	0.52134831	25-2-	0.46966292	8-4-09	0.64269662
17-1-09	0.40449438	26-2-	0.20898876	9-4-09	0.31685393
18-1-09	0.51685393	27-2-	0	10-4-09	0.86741573
19-1-09	0.47191011	28-2-	0	11-4-09	0.86741573
20-1-09	0.46292134	1-3-	0	12-4-09	0.82471910
21-1-09	0.46966292	2-3-	0.40449438	13-4-09	0.80674157
22-1-09	0	3-3-	0.51910112	14-4-09	0.34157303
23-1-09	0.47640449	4-3-	0.47191011	15-4-09	0.44719101
24-1-09	0.49662921	5-3-	0.48764044	16-4-09	0.40674157
26-1-09	0	6-3-	0.53483146	17-4-09	0.86741573
27-1-09	0	7-3-	0.56404494	18-4-09	0.50112359
28-1-09	0	8-3-	0.57752809	19-4-09	0.47640449
29-1-09	0.15955056	9-3-	0.45168539	20-4-09	0
30-1-09	0.57752809	10-3-	0.45842696	21-4-09	0.35280898
31-1-09	0.91011236	11-3-	0.83820224	22-4-09	0.46292134
1-2-09	0.48314606	12-3-	0.4	23-4-09	0.44943820
2-2-09	0.45393258	13-3-	0.98202247	24-4-09	0.44943820
3-2-09	0.44269662	14-3-	0.86966292	25-4-09	0.34382022
4-2-09	0.46516853	15-3-	0.97528089	26-4-09	0
5-2-09	0.48539325	16-3-	0.96179775	27-4-09	0
6-2-09	0.49213483	18-3-	0	28-4-09	0.46741573
7-2-09	0.49438202	19-3-	0.37528089	29-4-09	1
8-2-09	0.44269662	20-3-	0.48988764	30-4-09	0.53033707
9-2-09	0.49213483	21-3-	0.48764044	1-5-09	0.03146067
22-3-09	0.89887640	4-5-	0.27415730	2-5-09	0.30337078
23-3-09	0.43146067	5-5-	0.28764044	3-5-09	0.31685393
6-5-09	0.51910112	21-6-	0.96404494	3-8-09	0
7-5-09	0.43595505	22-6-	0.72808988	4-8-09	0.41573033

8-5-09	0.40898876	23-6-	0.28764044	6-8-09	0
9-5-09	0.48089887	24-6-	0.42696629	7-8-09	0
10-5-09	0.44044943	25-6-	0.36853932	8-8-09	0
11-5-09	0.47865168	26-6-	0.47640449	9-8-09	0
13-5-09	0	27-6-	0.98426966	10-8-09	0
15-5-09	0.67415730	28-6-	0.12584269	11-8-09	0.40224719
16-5-09	0.31910112	29-6-	0.42921348	12-8-09	0.86067415
17-5-09	0	30-6-	0	13-8-09	0.49213483
19-5-09	0	1-7-	0	14-8-09	0.98876404
20-5-09	0.49213483	2-7-	0.40898876	15-8-09	0.94382022
21-5-09	0.49213483	3-7-	0.39101123	16-8-09	0.44943820
22-5-09	0.88539325	4-7-	0.38876404	17-8-09	0.44269662
23-5-09	1	5-7-	0.39775280	18-8-09	0.97977528
24-5-09	0.56179775	6-7-	0.35280898	19-8-09	0.47865168
25-5-09	0.68988764	7-7-	0.12584269	20-8-09	0.64943820
26-5-09	0.37977528	8-7-	0.10786516	21-8-09	0.75505618
27-5-09	0.47415730	9-7-	0.58876404	22-8-09	0.97977528
28-5-09	0.73258427	10-7-	0	23-8-09	0.18202247
29-5-09	0.78876404	11-7-	0.22696629	24-8-09	0.80449438
30-5-09	0.92584269	12-7-	0.34606741	25-8-09	0.96404494
31-5-09	0.51910112	13-7-	0.15056179	26-8-09	0.08764044
1-6-09	0.42696629	14-7-	0.38202247	27-8-09	0
2-6-09	0.78651685	15-7-	0.39325842	28-8-09	0.47865168
3-6-09	0.06741573	16-7-	0.37078651	29-8-09	0.99101123
4-6-09	0.16853932	17-7-	0.48089887	31-8-09	0
5-6-09	0	18-7-	0.47865168	1-9-09	0
6-6-09	0.39101123	19-7-	0.33483146	2-9-09	0
7-6-09	0.41123595	20-7-	0.34382022	3-9-09	0
8-6-09	0.84719101	21-7-	0	4-9-09	0

9-6-09	0.51235955	22-7-	0.48539325	5-9-09	0
10-6-09	0.92584269	23-7-	0.47191011	6-9-09	0.39775280
11-6-09	0.77078651	24-7-	0.48988764	7-9-09	0.73483146
12-6-09	0.44494382	25-7-	0.94382022	9-9-09	0
13-6-09	0.33707865	26-7-	0.45168539	10-9-09	0.86966292
14-6-09	0.83820224	27-7-	0.91011236	11-9-09	0.70786516
15-6-09	0.67865168	28-7-	0	12-9-09	0.63820224
16-6-09	0.47865168	29-7-	0	13-9-09	0.31685393
17-6-09	0.06292134	30-7-	0	14-9-09	0.38202247
18-6-09	0.26741573	31-7-	0	15-9-09	0.45617977
19-6-09	0.71011236	1-8-	0	16-9-09	0.70112359
20-6-09	0.94606741	2-8-	0	17-9-09	0.17078651
18-9-09	0.47191011	1-11-	0.49213483	16-12-09	0
19-9-09	0.33932584	2-11-	0	17-12-09	0
20-9-09	0.44269662	3-11-	0	18-12-09	0.45842696
21-9-09	0.28314606	4-11-	0	19-12-09	0.61573033
22-9-09	0.26067415	5-11-	0.22247191	20-12-09	0.95280898
23-9-09	0.47415730	6-11-	0.82921348	21-12-09	0.33033707
24-9-09	0.78651685	7-11-	0.81797752	23-12-09	0
25-9-09	0	8-11-	0.48089887	24-12-09	0
26-9-09	0.47640449	9-11-	0.50561797	25-12-09	0
27-9-09	0.65168539	10-	0.37977528	26-12-09	0.13932584
28-9-09	0.29662921	11-	0	27-12-09	0.99775280
29-9-09	0.81348314	12-	0.40449438	28-12-09	0.44719101
30-9-09	0.84719101	13-	0.56179775	29-12-09	0.13707865
1-10-09	0.71011236	14-	0.24719101	30-12-09	0.42696629
2-10-09	0.33483146	15-	0	31-12-09	0.38651685
5-10-09	0	16-	0		
6-10-09	0.48988764	17-	0		

7-10-09	0.99325842	18-	0	20-10-09	0.775280899
8-10-09	0.66067415	19-	0	21-10-09	0
9-10-09	0.35730337	20-	0	22-10-09	0.564044944
10-10-	0.29887640	21-	0	23-10-09	0.48988764
11-10-	0.47865168	22-	0	24-10-09	0.665168539
12-10-	0.79775280	23-	0	25-10-09	0.878651685
13-10-	0.53707865	24-	0	26-10-09	0.946067416
14-10-	0.94382022	25-	0	27-10-09	0.788764045
15-10-	0.90337078	26-	0	28-10-09	0.37752809
16-10-	0.16404494	27-	0.30786516	29-10-09	0.48988764
17-10-	0.44719101	28-	0.26067415	30-10-09	0.757303371
18-10-	0.96404494	29-	0	31-10-09	0.433707865
19-10-	0.80449438	30-	0.65842696	3-12-09	0.775280899
8-12-09	0.93033707	1-12-	0.74831460	4-12-09	0.465168539
9-12-09	0.78426966	2-12-	0.53932584	5-12-09	0.539325843
10-12-	0.52359550	12-	0	11-12-09	0.501123596

Anexo 4: Salidas de la RNA (5-20-1) perteneciente al molino de cemento 2.

Fecha	Energía	Fecha	Energía	Fecha	Energía
1-1-09	0	13-2-09	0.201680672	28-3-09	0.903361345
2-1-09	0.796218487	14-2-09	0.441176471	29-3-09	0.539915966
3-1-09	0.705882353	15-2-09	0.655462185	30-3-09	0.378151261
4-1-09	0.672268908	16-2-09	0.531512605	31-3-09	0.361344538
5-1-09	0.487394958	17-2-09	0.361344538	1-4-09	0.071428571
6-1-09	0.426470588	18-2-09	0.766806723	4-4-09	0.157563025
7-1-09	0	19-2-09	0.462184874	6-4-09	0
8-1-09	0.453781513	20-2-09	0.966386555	7-4-09	0
9-1-09	0.512605042	21-2-09	0.945378151	8-4-09	0

10-1-09	0.462184874	22-2-09	0.945378151	9-4-09	0
11-1-09	0.428571429	23-2-09	0.046218487	10-4-09	0.602941176
12-1-09	0.392857143	24-2-09	0	11-4-09	0.607142857
13-1-09	0.441176471	25-2-09	0	12-4-09	0.789915966
14-1-09	0.336155462	26-2-09	0.338235294	13-4-09	0.68487395
15-1-09	0.462205882	27-2-09	0.462184874	14-4-09	0.422268908
16-1-09	0.495798319	28-2-09	0.485294118	15-4-09	0.453781513
17-1-09	0.43907563	1-3-09	0.462184874	16-4-09	0.388655462
18-1-09	0.462184874	2-3-09	0	17-4-09	0.798319328
19-1-09	0.455882353	4-3-09	0.426470588	18-4-09	0.447478992
20-1-09	0.451701681	5-3-09	0.926470588	19-4-09	0
21-1-09	0.443277311	6-3-09	0.380252101	20-4-09	0.462184874
22-1-09	0.483193277	7-3-09	0.100861345	21-4-09	0
23-1-09	0.506302521	8-3-09	0.514705882	22-4-09	0.451680672
24-1-09	0.378151261	9-3-09	0.443277311	23-4-09	0.420168067
25-1-09	0.43487395	10-3-09	0.420168067	25-4-09	0
26-1-09	0.455882353	11-3-09	0.892857143	26-4-09	0.382352941
27-1-09	0.462205882	12-3-09	0.37605042	27-4-09	0.413865546
29-1-09	0.460084034	13-3-09	0.399159664	28-4-09	0.43697479
30-1-09	0.420168067	14-3-09	0.378151261	29-4-09	0.441176471
31-1-09	0.415966387	15-3-09	0.464285714	30-4-09	0.359243697
1-2-09	0.476890756	16-3-09	0.455882353	1-5-09	0
2-2-09	0.462184874	17-3-09	0.273109244	2-5-09	0.292016807
3-2-09	0.401260504	18-3-09	0	3-5-09	0.302521008
4-2-09	0.430672269	19-3-09	0	4-5-09	0
5-2-09	0.394957983	20-3-09	0.590336134	5-5-09	0.155462185
6-2-09	0.487394958	21-3-09	0.474789916	6-5-09	0
7-2-09	0.50210084	22-3-09	0.840336134	7-5-09	0.451680672
8-2-09	0.466386555	23-3-09	0	8-5-09	0.210084034

9-2-09	0.464285714	24-3-09	0	9-5-09	0.329831933
10-2-09	0.098760504	25-3-09	0.226890756	10-5-09	0.415966387
11-2-09	0	26-3-09	0.575630252	11-5-09	0.027310924
12-2-09	0.504201681	27-3-09	0.483193277	12-5-09	0
13-5-09	0	26-6-09	0.682773109	9-8-09	0
14-5-09	0.029411765	27-6-09	0	10-8-09	0
15-5-09	0.68697479	28-6-09	0	11-8-09	0.472689076
16-5-09	0.397058824	29-6-09	0.426470588	12-8-09	0.338235294
17-5-09	0.24789916	30-6-09	0	13-8-09	0.668067227
18-5-09	0.401260504	1-7-09	0.422268908	14-8-09	0.380252101
19-5-09	0.216386555	2-7-09	0.336134454	15-8-09	0.716386555
20-5-09	0.403361345	3-7-09	0.331932773	16-8-09	0.394957983
21-5-09	0.857142857	4-7-09	0.329831933	17-8-09	0.338235294
22-5-09	0.609243697	5-7-09	0.331932773	18-8-09	0.653361345
23-5-09	0.674369748	6-7-09	0.384453782	19-8-09	0.693277311
24-5-09	0.859243697	7-7-09	0.441176471	20-8-09	0.548319328
25-5-09	0.676470588	8-7-09	0.172268908	21-8-09	0.493697479
26-5-09	0.18697479	9-7-09	0	22-8-09	0.487394958
27-5-09	0.621848739	10-7-09	0	23-8-09	0.712184874
28-5-09	0.691176471	11-7-09	0.397058824	24-8-09	0
29-5-09	0.859243697	12-7-09	0.380252101	25-8-09	0
30-5-09	0.388655462	13-7-09	0.109243697	26-8-09	0
31-5-09	0.384453782	14-7-09	0.319327731	27-8-09	0
1-6-09	0.348739496	15-7-09	0.334033613	28-8-09	0
2-6-09	0	16-7-09	0.31512605	29-8-09	0
3-6-09	0.207983193	17-7-09	0.453781513	30-8-09	0
4-6-09	0.260504202	18-7-09	0.476890756	31-8-09	0
5-6-09	0.455882353	19-7-09	0.300420168	1-9-09	0.418067227
6-6-09	0.43697479	20-7-09	0.304621849	2-9-09	0.514705882

7-6-09	0.327731092	21-7-09	0.411764706	3-9-09	0.850840336
8-6-09	0.735294118	22-7-09	0.451680672	4-9-09	0.75
10-6-09	0.294117647	23-7-09	0.81512605	5-9-09	0.87605042
11-6-09	0.18697479	24-7-09	0.449579832	6-9-09	0.31302521
12-6-09	0.848739496	25-7-09	0.926470588	7-9-09	0
13-6-09	0.546218487	26-7-09	0.319327731	8-9-09	0.779411765
14-6-09	0.808823529	27-7-09	0.911764706	9-9-09	0.796218487
15-6-09	0.510504202	28-7-09	0.489495798	10-9-09	0.857142857
16-6-09	0.447478992	29-7-09	0.611344538	11-9-09	0.653361345
17-6-09	0.06092437	30-7-09	0.380252101	12-9-09	0.285714286
18-6-09	0	1-8-09	0	13-9-09	0.323529412
19-6-09	0.023109244	2-8-09	0	14-9-09	0.363445378
20-6-09	0.357142857	3-8-09	0.168067227	15-9-09	0
21-6-09	0.43487395	4-8-09	0.619747899	16-9-09	0
22-6-09	0.43697479	5-8-09	0	17-9-09	0.025210084
23-6-09	0.617647059	6-8-09	0.283613445	18-9-09	0.602941176
24-6-09	0.214285714	7-8-09	0.928571429	19-9-09	0.392857143
25-6-09	0.388655462	8-8-09	0.483193277	20-9-09	0.273109244
21-9-09	0.430672269	12-11-09	0.453781513	25-12-09	0
22-9-09	0.411764706	13-11-09	0.455882353	26-12-09	0.796218487
24-9-09	0.478991597	14-11-09	0.365546218	27-12-09	0.386554622
1-10-09	0.588235294	15-11-09	0	28-12-09	0.577731092
2-10-09	0.451680672	16-11-09	0.306722689	29-12-09	0.466386555
3-10-09	0.81302521	17-11-09	0.468487395	30-12-09	0.838235294
4-10-09	0.170168067	18-11-09	0.907563025	31-12-09	0.212184874
6-10-09	0	19-11-09	0.472689076	30-10-09	0.405462185
7-10-09	0.43907563	20-11-09	0.075630252	31-10-09	0.403361345
8-10-09	0.174369748	21-11-09	0	12-12-09	0.995798319
9-10-09	0.344537815	22-11-09	0	13-12-09	0.462184874

10-10-09	0.472689076	23-11-09	0	2-11-09	0
11-10-09	0.43907563	24-11-09	0	3-11-09	0
12-10-09	0.466386555	25-11-09	0	4-11-09	0
13-10-09	0.653361345	26-11-09	0.861344538	5-11-09	0.334033613
14-10-09	0	27-11-09	0.907563025	6-11-09	0.346638655
15-10-09	0.371848739	28-11-09	0.25	7-11-09	0.428571429
16-10-09	0.424369748	29-11-09	0	8-11-09	0.743697479
17-10-09	0.306722689	30-11-09	0.558823529	9-11-09	0.882352941
18-10-09	0.842436975	1-12-09	0.647058824	10-11-09	0.68697479
19-10-09	0.800420168	2-12-09	0.525210084	11-11-09	0.588235294
20-10-09	0.764705882	3-12-09	0.598739496	14-12-09	0.168067227
21-10-09	0.724789916	4-12-09	0.521008403	15-12-09	0.758403361
22-10-09	0.495798319	5-12-09	0.691176471	16-12-09	0.443277311
23-10-09	0.468487395	6-12-09	1	17-12-09	0.329831933
25-10-09	0	7-12-09	0.989495798	18-12-09	0.771008403
26-10-09	0	8-12-09	0.758403361	19-12-09	0.424369748
27-10-09	0	9-12-09	0.701680672	20-12-09	0.426470588
28-10-09	0.403361345	10-12-09	0.659663866	21-12-09	0.464285714
29-10-09	0	11-12-09	0.487394958	22-12-09	0.466386555

Anexo 5: Tabla de resultados de la Figura 2.7

Error Medio Cuadrático para datos de entrenamiento	No de Neuronas de la capa oculta
0.000225	5
0.000185	10
0.000195	15
0.000153	20
0.000118	25
0.000509	30

Anexo 6: Tabla de resultados de la Figura 2.8.

Error Medio Cuadrático para datos de entrenamiento	No de Neuronas de la capa oculta
0.000163	5
0.000748	10
0.000189	15
0.000128	20
0.000149	25
0.000198	30

Anexo 7: índices de energía eléctrica en los molinos de cemento.

Año 2008	Índices(kWh/t) Molino1	Índices(kWh/t) Molino2	Año 2009	Índices(kWh/t) Molino1	Índices(kWh/t) Molino2
Enero	31.28	41.74	Enero	31.66	35.00
Febrero	32.07	42.85	Febrero	30.05	36.17
Marzo	30.55	39.70	Marzo	31.02	33.90
Abril	30.63	41.22	Abril	30.73	34.13
Mayo	31.05	47.98	Mayo	31.98	34.79
Junio	31.58	59.79	Junio	32.52	34.42
Julio	31.56	53.14	Julio	31.44	32.69
Agosto	30.44	40.32	Agosto	31.74	34.37
Septiembre	32.32	46.24	Septiembr	32.40	32.17
Octubre	31.04	45.56	Octubre	32.59	32.82
Noviembre	30.95	47.83	Noviembre	32.06	31.48
Diciembre	29.28	43.47	Diciembre	32.44	32.18

Anexo 8: Algoritmo genético desarrollado para la dosificación optima.

```
function dosif=DOSIS
clear all
clc
tic
%Tipocemento=350;
Tipocemento=250;
%valores máximos para molino 1
maxCemento_M1=2112;
maxPuzolana_M1=360;
maxYeso_M1=124;
maxClinker_M1=1740;
maxTTrabajo_M1=19.5;
```

%valores máximos para molino 2

maxCemento_M2=2106;

maxPuzolana_M2=392;

maxYeso_M2=122;

maxClinker_M2=1631;

maxTTrabajo_M2=19.59;

%%Molino1

IWM1=[-0.27304 -0.62721 -0.74081 1.1072 -0.31287;
1.2838 1.9034 0.80738 0.057801 0.31225;
-0.020579 -0.33605 0.64207 -0.58619 0.58979;
0.72182 0.5558 -1.5754 -0.11578 2.2433;
-0.0066498 -0.44958 0.91439 -1.0744 0.034225];

LW2M1=[-0.70828 -0.35403 0.27558 2.2963 1.0634;
1.1906 -1.4882 0.07957 -0.63504 -1.7491;
0.19083 -1.0392 -1.1488 0.89789 -1.957;
-1.1364 -0.69358 -0.082528 -2.3005 0.16462;
1.5019 0.3248 0.42985 -1.6223 -1.3829;
1.3345 -1.3519 0.44127 1.3332 1.7684;
1.0422 0.29194 -0.7732 -0.27855 2.7784;
0.91152 2.1794 -0.70275 -0.20348 1.7195;
0.52063 -0.76092 1.4492 1.5858 -1.3634;
-1.3913 -1.2708 -1.7317 0.082141 0.74363;
-1.0822 -1.122 2.1462 0.6578 0.1793;
-0.24829 -1.051 1.191 0.93586 2.1016;
-1.4932 -0.48883 1.2254 1.1722 0.94018;
1.8479 0.043415 -1.4968 0.28514 0.67218;
-1.2939 -1.5542 -1.1705 -1.3147 -0.24287;
-1.4865 -1.3081 -1.1403 -1.3884 -0.46721;
-1.2366 1.1507 0.2483 1.8874 1.5897;

-0.71203 -1.3965 -0.99517 -1.4039 -1.3725;
-0.050796 1.8209 0.80954 0.10187 -1.7685;
-0.72073 0.89385 -1.5192 -1.3643 -1.1991;
1.6831 -0.12578 0.61317 1.896 -0.42012;
-0.93028 0.37689 0.77741 1.2592 1.9057;
-1.4168 -1.309 1.2365 0.0010117 1.4691;
1.7253 0.52098 1.1232 0.59162 -2.198;
1.3401 1.2463 1.4449 -1.4735 -0.35272];

LW3M1=[-0.020689 -0.075127 0.34309 0.16369 -0.33422 -0.64622 -1.5186
1.1712 -0.38894 -0.8625 0.53664 -0.65025 0.17998 -0.64497 0.63562 0.64929 -
0.26143 0.34139 -0.54798 -0.036501 0.065227 1.0388 0.38747 0.8036 -0.10314];

b1M1=[-2.0298;
-1.3976;
-0.58149;
-0.76687;
1.2726];

b2M1=[2.6614;
-2.4416;
-2.2664;
1.9987;
-1.7696;
-1.2549;
-1.2426;
-1.1099;
-1.072;
1.0009;
0.50023;
0.44738;

0.16531;
-0.21854;
-0.44488;
-0.76666;
-0.63101;
-1.2323;
-1.5931;
-1.5584;
1.7873;
-1.9269;
-2.2188;
2.0726;
2.8507];

b3M1=[0.31023];

IWM2=[0.63551 1.1449 -1.0744 -0.71174 -0.28131;
0.4323 -1.0307 -0.79575 0.62695 0.43406;
-0.30353 0.19402 -0.91898 0.71064 -1.2996;
0.6341 -1.1615 0.5584 0.97409 0.48396;
-0.37792 0.68018 -0.3106 -0.73377 -1.7764];

LW2M2=[-0.61769 -1.3124 1.4595 1.2752 -0.79717;
-1.8968 -0.62077 -0.75782 1.297 0.53382;
1.7142 0.30602 0.097356 1.4408 1.1742;
1.1644 -0.060924 1.4249 1.0238 1.4075;
0.90364 1.0788 1.4425 -1.4895 -0.3248;
-1.4793 0.17456 -1.283 0.08524 -1.6478;
-0.61579 -1.0941 0.54648 -1.2316 -1.7605;
-1.276 0.77259 1.5093 1.353 -0.52915;
0.087911 -1.0692 1.3439 1.5048 1.2231;
1.1056 0.1631 -1.5775 -1.3042 -1.1911];

0.59466 0.82363 -1.0598 1.6508 1.1807;
0.96866 -1.6734 0.52722 -0.97424 0.84475;
0.44732 -0.87346 -1.1088 -0.57882 -1.5159;
0.63121 -1.7638 -1.6498 -0.0024045 0.58958;
1.0242 -1.0249 0.79318 0.54566 1.6181;
0.63008 -0.8174 2.3499 1.1283 -0.035816;
-0.88272 1.8111 1.8543 -0.16187 0.83302;
0.40784 -1.2645 -1.6389 0.79147 -1.2034;
-1.0045 1.4857 0.26221 1.2118 1.0943;
1.3918 -1.4553 1.1184 -0.63909 1.3962];

LW3M2=[0.31432 -0.82635 -0.22222 0.20938 -0.1797 0.43511 0.63184 -0.10917
0.47817 0.64311 -0.50334 -0.063615 0.68792 0.28507 -0.57007 -1.2794 0.63643 -
0.038744 -0.46852 -0.10827];

b1M2=[-2.2259;
-0.7996;
0.67833;
0.81353;
-1.6892];

b2M2=[2.5451;
2.2948;
-2.0117;
-1.8112;
-1.4548;
1.2134;
0.95899;
0.66832;
0.34379;
-0.05619;
0.059518;

```
0.54978;  
0.80999;  
1.1179;  
1.295;  
1.4061;  
-1.7267;  
1.8491;  
-2.412;  
2.3477];
```

```
b3M2=[0.084126];
```

```
% Pobinicial=[0.05+(0.06-0.05).*rand(100,1) 0.03+(0.05-0.03).*rand(100,1)];%  
para P350
```

```
Pobinicial=[0.18+(0.2-0.18).*rand(100,1) 0.03+(0.05-0.03).*rand(100,1)];% para  
PP250
```

```
options1=gaoptimset('Generations',Inf,'StallGenLimit',250,'StallTimeLimit',600,  
'CrossoverFcn', @crossoverheuristic,...
```

```
'PopulationSize',100,'EliteCount',2,  
'MutationFcn',@mutationuniform,'InitialPopulation',Pobinicial,...
```

```
'PlotFcns',{'@gaplotbestf','@gaplotbestindiv'},'TolFun',1e-3,  
'PenaltyFactor',10000);%
```

```
DOSIS=ga(@energia,2,options1)
```

```
function [energia]=energia(X)
```

```
Cemento=[0:0.1:1];
```

```
Puzolana_M1=X(1)*Cemento*maxCemento_M1./maxPuzolana_M1;
```

```
Yeso_M1=X(2)*Cemento*maxCemento_M1./maxYeso_M1;
```

```
Clinker_M1=(1-X(1)-X(2))*Cemento*maxCemento_M1./maxClinker_M1;
```

```

TTrabajo_M1=[0:0.1:1];
Puzolana_M2=X(1)*Cemento*maxCemento_M2./maxPuzolana_M2;
Yeso_M2=X(2)*Cemento*maxCemento_M2./maxYeso_M2;
Clinker_M2=(1-X(1)-X(2))*Cemento*maxCemento_M2./maxClinker_M2;
TTrabajo_M2=[0:0.1:1];
Entrada_M1=[Puzolana_M1; Yeso_M1; Clinker_M1; Cemento; TTrabajo_M1];
Entrada_M2=[Puzolana_M2; Yeso_M2; Clinker_M2; Cemento; TTrabajo_M2];

%      if Tipocemento==350 && X(1)>0.05 && X(1)<0.06 && X(2)>0.03 &&
X(2)<0.05
    if Tipocemento==250 && X(1)>0.18 && X(1)<0.20 && X(2)>0.03 && X(2)<0.05
        for ii=1:length(Cemento)

            energia1=purelin(LW3M1*(tansig(LW2M1*(tansig(IWM1*Entrada_M1(:,ii)+b1M1))+
            b2M1))+b3M1);

            energia2=purelin(LW3M2*(tansig(LW2M2*(tansig(IWM2*Entrada_M2(:,ii)+b1M2))+
            b2M2))+b3M2);
        end
        energia=sum(sum(energia1+energia2));
    else
        energia=10;
    end
end
end
toc
end

```

Anexo 9: Tabla de datos disponibles del Molino1 para enero de 2010.

TTrabajo	TParos	Clínter	Yeso	Puzolana	Cemento	Energía
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0

[illegible]

Anexo 10: Tabla de datos disponibles del Molino1 para febrero de 2010.

TTrabajo	TParos	Clínker	Yeso	Puzolana	Cemento	Energía
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0.15794872	0.87166667	0.12011494	0.2016129	0.03333333	0.10288582	0.15955056
0.67948718	0.44791667	0.55689655	0.91935484	0.15833333	0.47678795	0.68539326
0.5	0.59375	0.44885057	0.42741935	0.12222222	0.36721037	0.51460674
0.91435897	0.25708333	0.72931034	0.69354839	0.19722222	0.59640318	0.9258427
0.33333333	0.72916667	0.26609195	0.25	0.07222222	0.21748223	0.33707865
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0.14512821	0.88208333	0.13103448	0.12096774	0.03333333	0.10664994	0.1505618
0.76051282	0.38208333	0.72068966	0.68548387	0.19444444	0.58929318	0.78651685
0.54307692	0.55875	0.51436782	0.48387097	0.13888889	0.42032622	0.53258427
0.32512821	0.73583333	0.3045977	0.33064516	0.325	0.28774571	0.33707865
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0

0	1	0	0	0	0	0
0.38871795	0.68416667	0.34885057	0.33064516	0.09444444	0.2852363	0.38426966

Anexo 11: Tabla de datos disponibles del Molino2 para enero de 2010.

T Trabajo	Tparos	Clínker	Yeso	Puzolana	Cemento	Energía
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0.23379275	0.80916667	0.25015328	0.2295082	0.05612245	0.21203704	0.22058824
0.99948954	0.18416667	0.99202943	1.06557377	0.28571429	0.86111111	0.93067227
0.83409903	0.31916667	0.82771306	0.89344262	0.2372449	0.71851852	0.78151261
0.50638081	0.58666667	0.46842428	0.59016393	0.44897959	0.46851852	0.47058824
0.49770291	0.59375	0.4543225	0.76229508	0.2372449	0.42916667	0.47268908
0.46350179	0.62166667	0.40098099	0.67213115	0.20918367	0.3787037	0.44117647
0.50178663	0.59041667	0.44512569	0.72131148	0.18112245	0.40972222	0.46848739
0.04236856	0.96541667	0.03985285	0.06557377	0.01530612	0.03657407	0.04180672
0.4849413	0.60416667	0.47762109	0.77868852	0.19387755	0.43981481	0.47058824
0.49770291	0.59375	0.4659718	0.76229508	0.18877551	0.42916667	0.47689076
0.4849413	0.60416667	0.48927039	0.93442623	0.58163265	0.52777778	0.46008403
0.48953548	0.60041667	0.48743102	0.78688525	0.17091837	0.44351852	0.48319328
0.49770291	0.59375	0.47087676	0.76229508	0.16581633	0.4287037	0.47689076
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0.27667177	0.77416667	0.24524831	0.40163934	0.0994898	0.22592593	0.26470588
0.4849413	0.60416667	0.42979767	0.70491803	0.17346939	0.39583333	0.46008403

0.44206228	0.63916667	0.36480687	0.69672131	0.43367347	0.39351852	0.42647059
0.3741705	0.69458333	0.3599019	0.32786885	0.08418367	0.30555556	0.35504202
0.48085758	0.6075	0.45003066	0.7295082	0.18367347	0.41435185	0.46008403
0.4849413	0.60416667	0.88228081	1.44262295	0.35714286	0.8125	0.45168067
0.89331291	0.27083333	0.82096873	1.29508197	0.20153061	0.72962963	0.82983193
0.57427259	0.53125	0.50889025	0.82786885	0.20663265	0.46851852	0.55672269
0.61255743	0.5	0.54322502	0.8852459	0.21938776	0.5	0.59453782
0.68912711	0.4375	0.65297364	1.16393443	0.53826531	0.65648148	0.67226891

Anexo 12: Tabla de datos disponibles del Molino2 para febrero de 2010.

T Trabajo	Tparos	Clínker	Yeso	Puzolana	Cemento	Energía
0.58295048	0.52416667	0.52237891	0.8442623	0.18367347	0.47546296	0.55042017
0.84226646	0.3125	0.75659105	1.18852459	0.18622449	0.67222222	0.79621849
0.49770291	0.59375	0.45738811	0.72131148	0.1122449	0.40648148	0.47058824
0.85502808	0.30208333	0.78540773	1.23770492	0.19132653	0.69768519	0.81932773
0.49770291	0.59375	0.47884733	0.43442623	0.1122449	0.40648148	0.4789916
0.55742726	0.545	0.53648069	0.48360656	0.125	0.45509259	0.54831933
0.76569678	0.375	0.73697118	0.66393443	0.17346939	0.62546296	0.73529412
0.49770291	0.59375	0.47884733	0.43442623	0.1122449	0.40648148	0.46638655
0.11485452	0.90625	0.11036174	0.09836066	0.0255102	0.09351852	0.1092437
0.49770291	0.59375	0.52237891	0.54918033	0.51530612	0.51898148	0.47478992
0.79530373	0.35083333	0.84733292	0.68032787	0.51530612	0.77175926	0.74789916
0.34047984	0.72208333	0.3274065	0.29508197	0.07653061	0.27777778	0.32563025
0.34864727	0.71541667	0.33169834	0.30327869	0.07653061	0.28148148	0.34033613
0.99540582	0.1875	0.9558553	0.93442623	0.58163265	0.88009259	0.94747899
0.74425727	0.3925	0.71489884	0.69672131	0.41581633	0.65462963	0.72268908
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0

0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0.49770291	0.59375	0.50521153	0.45901639	0.11734694	0.4287037	0.46428571
0.99540582	0.1875	0.99080319	0.96721311	0.60714286	0.91296296	0.94117647
0.31495661	0.74291667	0.30104231	0.27868852	0.09438776	0.26018519	0.30462185
0.16181725	0.86791667	0.16431637	0.14754098	0.03826531	0.13935185	0.15756303
1.00816743	0.17708333	1.00245248	0.90163934	0.23469388	0.85046296	0.95168067
0	1	0	0	0	0	0
0.03369066	0.9725	0.03126916	0.02459016	0.00765306	0.02638889	0.03151261
0	1	0	0	0	0	0
0.302195	0.75333333	0.27467811	0.24590164	0.06377551	0.23287037	0.29201681