

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE QUEMADORES EN LA PUERTA
CERO DEL HORNO 116A PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL VIDRIO Y
DISMINUIR LA ENERGÍA DE FUSIÓN**

MÓNICA MARÍA PACHECO CALVO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE QUEMADORES EN LA PUERTA
CERO DEL HORNO 116A PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL VIDRIO Y
DISMINUIR LA ENERGÍA DE FUSIÓN**

MÓNICA MARÍA PACHECO CALVO

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniera Química

Director

ROBY CUTIVA SÁNCHEZ

SUPERINTENDENTE DE HORNOS Y MATERIAS PRIMAS

CRISTALERÍA PELDAR PLANTA ZIPAQUIRÁ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

A todas aquellas personas que han aportado a mi formación y al alcance de mis sueños, en especial mis padres, hermanos y amigos, entre ellos a los dos angelitos que tanto extrañamos.

AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos al grupo de trabajo del área de Hornos y Materias primas de Cristalería Peldar Planta Zipaquirá por hacerme parte del interesante proceso del vidrio.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iii
GLOSARIO	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONCEPTOS TEÓRICOS	2
2.1 PROCESO DE FORMACIÓN DEL VIDRIO	2
2.1.1 Diagrama de proceso	2
2.2 FUSIÓN	2
2.2.1 Combustión de Gas Natural	3
2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR	5
2.3.1 Corrientes Convectivas	5
2.3.2 Gradiente de Temperatura	6
2.4 HORNOS EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO	7
2.4.1 Horno de tanque o continuo	7
2.4.1.1 Horno Side-Port	8
2.5 INCLUSIONES EN EL VIDRIO (Semillas)	8
2.6 METODOS DE QUEMADO CON GAS NATURAL	9
2.6.1 Quemado de gas bajo puerta	9
2.6.2 Quemado de gas a alta velocidad	9
2.7 QUEMADORES	10
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	12
3.1 EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO INICIAL HORNO 116A	12

3.2	INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA Y OPERACIONAL SOBRE QUEMADORES EN LA PUERTA CERO	13
3.3	INSTALACIÓN QUEMADORES EN LA PUERTA CERO	14
3.4	PRUEBAS OPERACIONALES	14
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
4.1	CÁLCULO AIRE/GAS QUEMADORES PUERTA CERO	16
4.2	ANÁLISIS DE REGISTROS	16
4.2.1	Gradientes de Temperaturas	18
4.2.2	Comparación datos con y sin quemadores en la puerta cero	19
4.2.3	Análisis de variables	22
5.	CONCLUSIONES	23
6.	RECOMENDACIONES	24
7.	BIBLIOGRAFÍA	25
8.	ANEXOS	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso General de formación del Vidrio	2
Figura 2. Transferencia de calor en la cámara de fusión	5
Figura 3. Vista lateral corrientes convectivas en la cámara de fusión	6
Figura 4. Curva de Temperatura	7
Figura 5. Horno Side-Port	8
Figura 6. Quemado bajo puerta	9
Figura 7. Llama larga.	10
Figura 8. Llama larga y perezosa	10
Figura 9. Llama corta	11
Figura 10. Esquema desarrollo experimental	12
Figura 11. Plano sección longitudinal	13
Figura 12. Gas requerido Vs Ratio	16
Figura 13. Seeds (Ratio 12,13, 14)	17
Figura 14. Fondo (Ratio 12,13, 14)	17
Figura 15. Energía (Ratio 12, 13 y 14)	17
Figura 16. CEW (Ratio 12, 13, 14)	17
Figura 17. Gradientes de Temperatura (Ratio 12, 13 y 14)	18

Figura 18. Gradientes de Temperatura (Con y sin puerta de quemado cero)	19
Figura 19. Seeds Vs CEW	21
Figura 20. Consumo de gas diario (Con y sin puerta de quemado cero)	21
Figura 21. Seeds Vs P2-CEW	22
Figura 22. Formación de envases	29
Figura 23. Plano Vista Superior H116A	34
Figura 24. Plano Vista lateral H116A	35
Figura 25. Puerta de quemado cero	38
Figura 26. Aire de combustión Puerta cero	39
Figura 27. Seeds Vs Pull	40
Figura 28. Fondo Vs P2	40
Figura 29. Boosting Vs Pull	40
Figura 30. Energía Vs Pull	40
Figura 31. Plano quemador Eclipse 2000	41
Figura 32. Magnehelic Modelo 2000	42
Figura 33. Magnehelic 2000 instalado H116A	42
Figura 34. Pirómetro	43
Figura 35. Diagrama esquemático de un Pirómetro óptico	44
Figura 36. Hoja de cálculo Flujo de Gas Ratio 12	45
Figura 37. Hoja de cálculo Flujo de Gas Ratio 13	45

Figura 38. Hoja de cálculo Flujo de Gas Ratio 14	46
Figura 39. Hoja de cálculo Flujo de (Aire de Combustión)	46
Figura 40. Regresión Seeds	57
Figura 41. Gráfico Multivariable	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Flujo de Gas y Aire calculados para diferentes Ratios	16
Tabla 2. Valores Operacionales Promedios (Con y sin Puerta cero)	20
Tabla 3. Dimensiones H116A	36
Tabla 4. Variables Promedio H116A 2008-2009	37
Tabla 5. Variables Operacionales Ratio 12	47
Tabla 6. Variables Operacionales Ratio 13	48
Tabla 7. Variables Operacionales Ratio 13	49
Tabla 8. Variables Operacionales Ratio 14	50
Tabla 9. Variables Operacionales Ratio 14	51
Tabla 10. Variables Promedio (Ratio 12, 13, 14)	52
Tabla 11. Variables Promedio Transformadas (Ratio 12, 13, 14)	52
Tabla 12. Resumen Estadístico	53
Tabla 13. Intervalos de Confianza	53
Tabla 14. Correlaciones de Pearson	54
Tabla 15. Regresión Múltiple Seeds	56
Tabla 16. Análisis de Varianza Seeds	56
Tabla 17. Regresión Múltiple Energía	58
Tabla 18. Análisis de Varianza Energía	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: DESCRIPCIÓN PROCESO	26
ANEXO B: TRANSFERENCIA DE CALOR	32
ANEXO C: PLANO VISTA SUPERIOR HORNO 116A	34
ANEXO D: PLANO VISTA LATERAL HORNO 116A	35
ANEXO E: DIMENSIONES HORNO 116A	36
ANEXO F: VARIABLES OPERACIONALES PROMEDIO H116A 2008-2009	37
ANEXO G: SISTEMA DE QUEMADO INSTALADO PURTA CERO38	
ANEXO H: TENDENCIAS VARIABLES OPERACIONALES 2008-2009	40
ANEXO I: PLANO QUEMADOR ECLIPSE 04V	41
ANEXO J: MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL MAGNEHELIC 2000	42
ANEXO K: PIRÓMETRO	43
ANEXO L: CÁLCULO DE FLUJO PLATINA DE ORIFICIO	45
ANEXO M: REGISTRO VARIABLES OPERACIONALES RATIO 12, 13, 14.	47
ANEXO N: ANÁLISIS REGISTROS	52
ANEXO O: CONTEOS DE SEMILLAS	61

GLOSARIO

AFINADO: Es el proceso de refinación del vidrio, donde se promueve la liberación de gases.

ARCHAS: Son las estructuras que se utilizan para equilibrar los esfuerzos mecánicos o tensiones que se generan en el vidrio, a través de una disminución gradual de la temperatura.

BACHE: Cantidad de mezcla estándar que entra al proceso.

BLOQUE: Material refractario que se utiliza como soporte para los quemadores.

BTMLK: Temperatura registrada por una termocupla ubicada en un bloque del fondo del horno.

BWO: Temperatura óptica del puente.

CANASTA: Arreglo de refractarios que conforman los regeneradores.

CARGADOR: Equipo que dosifica la mezcla a la cámara de fusión.

CASCO: Vidrio reciclado empleado como materia prima.

CEW: Temperatura óptica del muro del cargadero.

C1: Temperatura registrada por una termocupla en la corona 1.

C2: Temperatura registrada por una termocupla en la corona 2.

C3: Temperatura registrada por una termocupla en la corona 3.

CORONA: Estructura superior del Horno.

CULLET: Porcentaje de casco en la mezcla.

ENERGY: Consumo de energía referente al gas.

EXTRAFLINT: Color transparente que se le da al vidrio de cristalería.

FONT: Temperatura registrada por una termocupla ubicada en Afinación.

MEZCLA: Combinación de materias primas empleadas para la fabricación del vidrio.

PULL Ó EXTRACCIÓN: Es la cantidad de mezcla que se funde por día. Se mide en Ton/día.

PUNTO CALIENTE: Área de la cámara de fusión donde se encuentra la mayor temperatura.

RATIO: Relación de combustión Aire/Gas (en volumen).

REVERSE: Ciclo de quemado por lado y lado del horno.

REGENERADOR: Estructura empleada como intercambiador de calor entre los gases de combustión y el aire de combustión.

QUEMADOR: Dispositivo que distribuye flujo de gas y propicia la combustión.

SEMILLA: Inclusión gaseosas no deseada en el vidrio.

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE QUEMADORES EN LA PUERTA CERO DEL HORNO 116A PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL VIDRIO Y DISMINUIR LA ENERGÍA DE FUSIÓN*

AUTOR: MÓNICA MARÍA PACHECO CALVO**

PALABRAS CLAVES: Horno de fusión, combustión, calidad de vidrio, semillas, ratio.

Para afrontar el mercado internacional de Licores Premium, Cristalería Peldar S.A en su planta de Zipaquirá, desarrolla un plan de mejora para producir botellas con la calidad requerida por el cliente sin impactar los costos de energía y fabricación del proceso. El primer análisis realizado con los datos operacionales y el diseño del horno permitió identificar la posibilidad de aprovechar el área de fusión comprendida entre el muro de cargue y la primera puerta de quemado. En dicha área se instaló un quemador de alta velocidad bajo una proporción aire/gas controlada, para evitar temperaturas excesivas en el muro de cargue y la corona. El uso de llama en este punto permite dar paso a la fusión temprana de la mezcla, esto se traduce en mayor temperatura, pequeños baches de mezcla y mejor distribución en la cámara de fusión. Al final se obtuvo una mejor fusión que permitió producir vidrio de mejor calidad. Durante las pruebas operacionales evaluadas se encontró que 14ft^3 de aire/ 1ft^3 de gas, es la mejor proporción bajo la cual operan los quemadores, considerando las exigencias de calidad de vidrio costo por tonelada producida y energía. Durante el proceso de implementación de la puerta cero no se apreciaron cambios significativos en cuanto a consumos energéticos.

* TRABAJO DE GRADO

** FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS, PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA. DIRECTOR : ROBY CUTIVA SÁNCHEZ

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF BURNERS IN ZERO PORT OF FURNACE 116A TO IMPROVE THE GLASS QUALITY AND REDUCE THE ENERGY CONSUMPTION*

AUTHOR: MONICA MARIA PACHECO CALVO**

KEY WORDS: Melting furnace, combustion, glass quality, seeds, ratio.

To achieve the challenge of the world wide specialties liquors market, Cristalería Peldar Zipaquirá Plant developed an improvement plan to produce the bottles in the quality required by the costumer keeping the energy and manufacturing costs. The first analysis made with the operational data and furnace design showed a possibility of using the melter area between the charging endwall and the first port. In this area it was possible to install a high velocity air gas burner, with a ratio air/gas controlled to avoid excessive temperatures in the charging wall and crown, the use of flame in this area allows the batch starts the first melting steps earlier; this means a higher batch temperature, smaller batch piles and better batch distribution, at the end, the result was a better melting and fining process that produces better glass quality. During the project different air/gas ratios were evaluated, finding that 14 ft³ air/ft³ gas, is the best condition in the ratio, considering the requirements for glass quality, cost per ton and energy. During the process of burner zero implementation no changes were observed in the energy consumption.

* PROJECT DEGREE

** FACULTY OF PHYSICOCHEMICAL ENGINEERINGS. SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING. THE DIRECTOR: ROBY CUTIVA SÁNCHEZ

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre del 2008, Cristalería Peldar Zipaquirá y su división de envases, implementó en la línea de cristalería; producción de *Licores Premium*, abriendo así un importante y exigente mercado mundial que llevó a replantear los estándares de calidad, dando lugar a la *Calidad Premium*. Esta exige una disminución de 80% en las semillas/oz permitidas en la producción. Dicha imperfección está directamente influenciada por la operación del horno. De allí surge la necesidad de buscar mejoras en el proceso de fusión, que permitan cumplir con las nuevas exigencias de mercado, sin impactar la energía y el costo por tonelada producida en el Horno que opera para cristalería (Horno 116A).

Como primera solución, la compañía implementó en el horno un sistema de potenciación denominado *Boosting Eléctrico*. Diez meses después se canceló su operación toda vez que los resultados obtenidos no justificaban su uso. Posterior a un análisis operacional, se plantea la posibilidad de implementar y evaluar el aprovechamiento de cierta área del horno en cuanto a fusión. Se trata del espacio comprendido entre el muro donde se carga la mezcla y la primera puerta de quemado; equivalente a un 20% del área total del horno. Si en dicha área se promueve la fusión implementando la puerta cero de quemado de alta velocidad, bajo la relación aire/gas óptima, es posible mejorar condiciones de operación y dar paso a la reacción temprana de la mezcla en su avance por la cámara de fusión. Esto ocasiona un efecto similar al aumento del tiempo de residencia del vidrio en el horno, lo cual está directamente relacionado con beneficios de calidad. La implementación de la puerta cero como alternativa para mejorar la calidad del vidrio, se desarrolla en el presente proyecto de grado, con su respectivo análisis de validación para asumir el mercado de licores Premium competitiva y rentablemente.

CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 PROCESO DE FORMACIÓN DEL VIDRIO

2.1.1 Diagrama de proceso (Ver Anexo A)

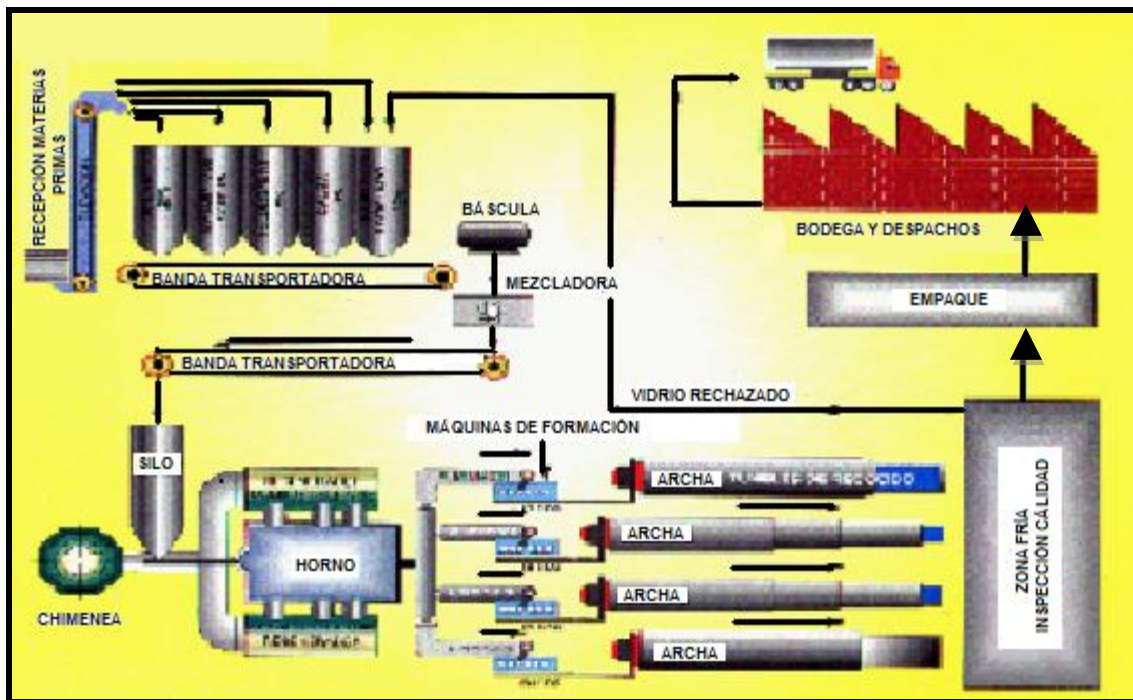


Figura 1: Proceso General de Formación del Vidrio

2.2 FUSIÓN

Someter la mezcla de materias primas a altas temperaturas para obtener vidrio fundido, es la parte más importante del proceso productivo. Se trata de una compleja combinación de reacciones químicas y procesos físicos, resumidos a continuación:

- Evaporación del agua libre presente en los componentes de la mezcla.

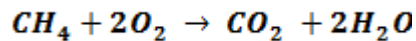
- Descomposición de los carbonatos y formación de constituyentes gaseosos.
- Fusión del casco presente en la mezcla.
- Formación de la primera fase de metasilicatos entre la soda y el casco fundido.
- Reacción de los metasilicatos con el óxido de silicio, arena.
- Formación de las primeras fases de vidrio por fusión y reordenación de los óxidos en la estructura vítrea.
- Fusión completa de óxidos y formación de red vítrea.
- Homogeneización de la fase líquida del vidrio y eliminación de inclusiones gaseosas.

2.2.1 Combustión de Gas Natural

Gracias a la combustión es posible realizar el proceso de fusión de la mezcla, el objetivo principal de estudiar los procesos de combustión es contar con los conocimientos necesarios para introducir mejoras y lograr controlar una combustión eficiente, económica y limpia.

La reacción de combustión es el conjunto de procesos físico-químicos por los cuales se libera controladamente parte de la energía interna del combustible. Una parte de esa energía se va a manifestar en forma de calor y es la de interés en el proceso.

Los combustibles están constituidos básicamente por hidrocarburos. El comburente, generalmente aire, es la fuente de oxígeno.



El Gas Natural (CH₄) es el combustible predominante en el mundo y en la mayoría de los hornos de la industria del vidrio. Por lo general, es menos costoso y más limpio que el resto de los combustibles. El poder calorífico del gas varía geográficamente, debido a cambios en su composición.

Cuando se quema metano con aire, se requiere 9.57 veces más volumen de aire que de metano. Por eso se ha establecido una relación aire combustible de 10:1. Ya que no se tiene en el horno una mezcla perfecta entre el aire y el combustible, se debe operar con bajos niveles de exceso de oxígeno. Los niveles típicos de exceso, entre 1,5% y 2,5%, aseguran que todo el combustible sea quemado en fusión.

El volumen de gas usado en un horno se totaliza en un medidor de desplazamiento positivo. Como el gas natural es compresible, las lecturas se deben corregir a temperatura y presión estándar

$$V_C = V_M \cdot FP \cdot FT$$

Siendo FP y FT:

$$FP = \frac{P_L + P_a}{14,73}$$

$$FT = \frac{460 + 60}{460 + T_L}$$

Donde:

V_C = Volumen corregido

V_M = Volumen medido

FP = Factor de Presión

FT = Factor de Temperatura

P_L = Presión de Línea [=] psi

P_a = Presión Atmosférica [=] psi

T_L = Temperatura de Línea [=] °F

2.3 Transferencia de calor

El calentamiento se realiza por medio de las llamas que se desarrollan encima de la superficie del vidrio. Una parte de la energía térmica desprendida durante la combustión se transmite directamente al vidrio por los mecanismos de radiación y convección y otra parte se transmite a la corona que la restituye al vidrio por radiación como se aprecia a continuación:

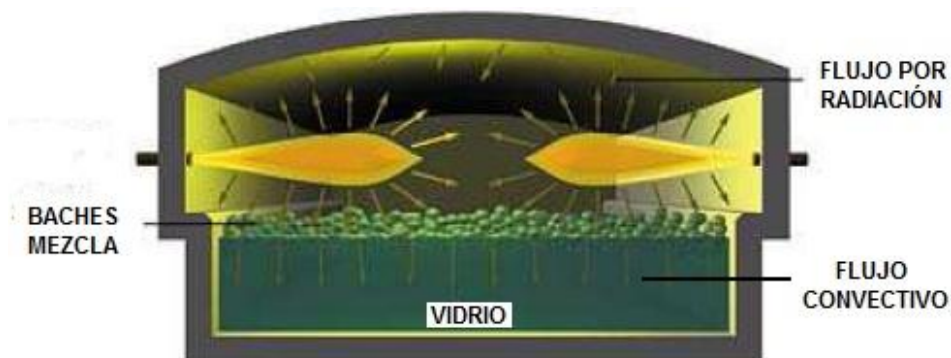


Figura 2: Transferencia de calor en la cámara de fusión¹

Las ecuaciones de transferencia de calor se describen en el Anexo B.

2.3.1 Corrientes Convectivas

Las diferencias de temperatura establecidas a lo largo de la cámara de fusión dan lugar a las corrientes convectivas que inducen el mezclado, homogeniza

¹ <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.VIDRIO.HornoFUSION.pdf>

el vidrio tanto química como térmicamente y ayuda a mantener los baches de mezcla en la parte de atrás de la cámara de fusión (buena distribución).

Una buena distribución trae beneficios en cuanto a calidad del vidrio y en cuanto a operación del horno. Dentro de esta última se encuentra: reducción de temperaturas de operación, reducción del consumo de combustible y prolongación de la vida útil del horno.

Principalmente dichas corrientes se encuentran gobernadas por la diferencia de temperatura entre el punto caliente del horno y el muro de cargue de la mezcla (CEW).

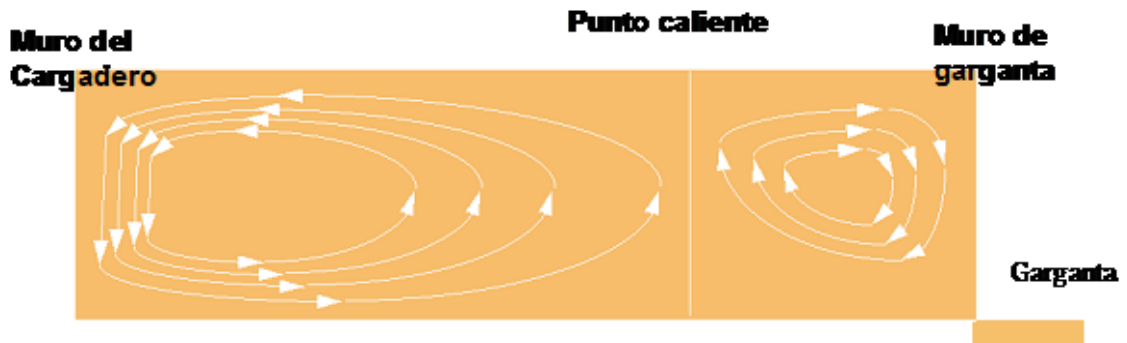


Figura 3: Vista Lateral corrientes convectivas en la cámara de fusión.²

Se dan dos bucles de convección como resultado de la diferencia en temperatura entre el muro de cargue y el punto caliente, y entre el punto caliente y el muro de garganta. Ellos crean un recorrido más largo para el flujo y más tiempo de residencia del vidrio en fusión. La fusión es un proceso de tiempo y temperatura.

2.3.2 Gradiente de Temperatura

Cuando se ajustan las llamas, se pueden maximizar los flujos convectivos controlando el perfil de temperatura según lo indiquen las temperaturas

² Manual de Operación de Hornos O-I

ópticas medidas a lo largo del horno. La distribución del combustible y la longitud de la llama pueden ser manipuladas para lograr un buen gradiente que ayude en la fusión y en la distribución de la mezcla. Un gradiente típico sería de 70°C a 110 °C entre la primera puerta y el punto caliente, y de 11°C a 22°C entre el punto caliente y el muro de garganta.

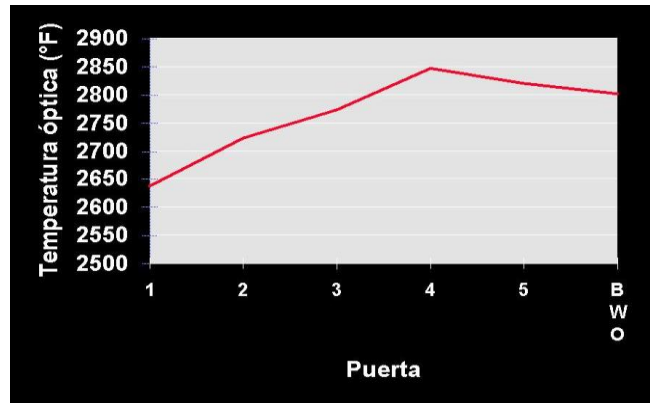


Figura 4: Curva de Temperatura

2.4 HORNOS EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

2.4.1 Horno de tanque o continuo

Este tipo de horno es utilizado donde es necesario un flujo continuo de vidrio para la alimentación de máquinas automáticas de formado, por su mayor eficiencia en el uso del combustible es empleado principalmente para la producción en gran escala. Consiste en un tanque (capacidad hasta 2000 Ton, construido de material refractario) y una estructura donde tiene lugar la combustión. Para alcanzar altas temperaturas de fusión con economía de combustible, son usados sistemas regenerativos y recuperativos, los cuales utilizan los gases de resultantes de la combustión para calentar el aire de combustión que ingresa.

En el sistema regenerativo los gases de combustión pasan a través de una gran cámara con bloques de refractarios dispuestos de tal forma que

permitan el libre flujo de los gases, siendo los ladrillos calentados por éstos. Después de aproximadamente 20 minutos, la dirección de los gases es invertida, pasando entonces el aire de combustión por la masa de ladrillos calientes; aprovechándose de ésta forma el calor recolectado anteriormente para precalentar el aire de combustión. Este sistema permite reducir la energía del horno hasta en un 60%.

2.4.1.1 Hornos Side-Port

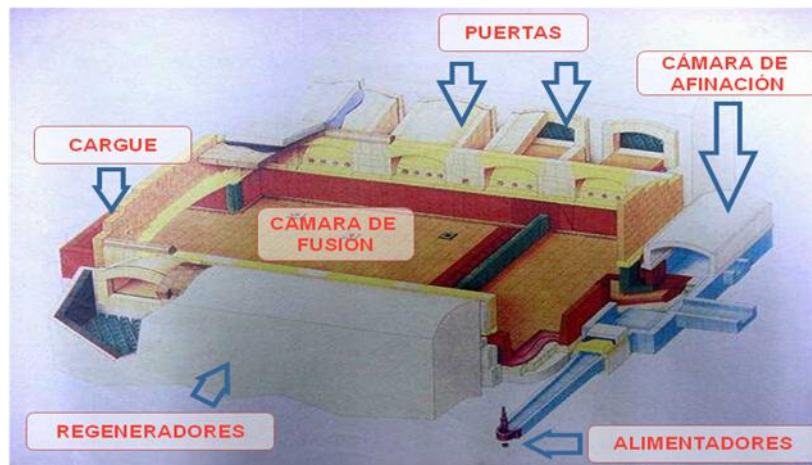


Figura 5: Horno Side-Port³

Este tipo de Hornos se caracteriza por la ubicación de las puertas de quemado y regeneradores a lado y lado de cámara de fusión.

2.5 Inclusiones en el vidrio (Semillas)

La mezcla contiene elementos emisores de gases que reaccionan al ser sometidos a calentamiento. La mayor cantidad de gas (CO_2), es emitida por la Soda y la Caliza. Estos gases deben ser eliminados del vidrio antes de ser

³ Ross Philip C. Glass Melting Technology

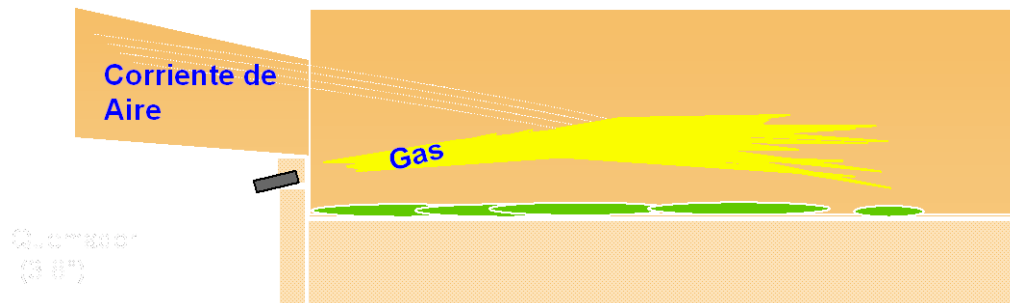
formado, de lo contrario dichas inclusiones se denominan semillas y son clasificadas como defectos.

Los conteos de semillas establecidos por la compañía se detallan en el ANEXO O.

2.6 MÉTODOS DE QUEMADO CON GAS NATURAL

2.6.1 Quemado de gas bajo puerta: Consiste en quemar gas desde abajo y hacia la corriente de aire. Los bloques que sostienen los quemadores se encuentran ubicados bajo las puertas del horno.

Figura 6: Quemado bajo puerta⁴



Dentro de los beneficios de la utilización de este método de quemado se encuentra: buena luminosidad de llama, buena cobertura de llamas sobre la superficie del vidrio, fácil mantenimiento de quemadores (debido a las facilidades de acceso a los mismos), control estable de llamas.

2.6.2 Quemado de gas a alta velocidad

Este tipo de quemado emplea quemadores de alta velocidad, los cuales se caracterizan por inyectar un gran volumen de gas a baja temperatura y a

⁴ Manual de Operación de Hornos O-I

gran velocidad. Esta puede ser del orden de 300 a 700 pies/s. De esta manera se potencia la transferencia de calor por convección.

2.7 QUEMADORES

Son los dispositivos encargados de propiciar la combustión en el horno. De su diseño y ubicación depende la eficiencia de la combustión. Según las condiciones con que operen se puede controlar los siguientes aspectos:

- *Velocidad de combustión:* Depende de la velocidad de mezclado entre el combustible y el comburente.
- *Luminosidad de llama:* Hace referencia a la cantidad de luz visible que entrega la llama. Está aumenta si se retarda la ignición del combustible.
- *Longitud y forma de llama:* Depende de la velocidad de mezclado y el exceso de comburente. La velocidad a la cual se suministra el gas se determina por la presión de abastecimiento en cada uno de los quemadores. En operación se pueden encontrar los siguientes tipos de llamas:

Llamas largas: Tienen un tiempo de residencia prolongado, transmiten más energía a la mezcla y a las coronas. Se obtienen con un grado de mezclado lento y retardado. Las llamas no deben ser lo suficientemente largas como para tener contacto continuo con la salida al regenerador.



Figura 7: Llama larga

Figura 8: Llama larga y perezosa

Una buena longitud de llama no transmite mucha energía a las canastas pero suministra la cantidad adecuada a la mezcla por tener la máxima cobertura a través de la cámara de fusión. Los resultados serán una mejor calidad de vidrio a temperaturas más bajas de operación, para una eficiencia óptima del combustible.⁵ Se conocen como llamas largas y perezosas.

Llamas cortas: Por su elevada velocidad tienen un menor tiempo de residencia, por su ubicación transmiten más calor a las canastas y refractarios ocasionando desgastes prematuros y pueden generar puntos calientes perjudiciales para el horno. Se obtienen con mezclados rápidos y cortos tiempos de reacción.

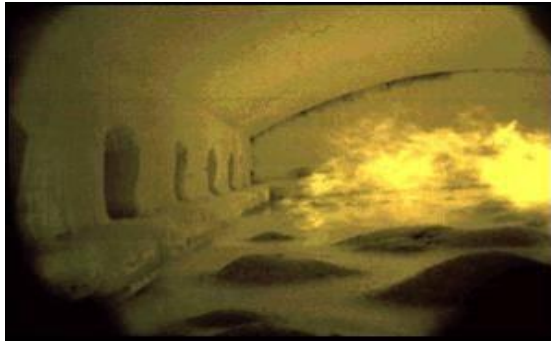


Figura 9: Llama corta

- Liberación de Energía: está determinada por la tasa de combustión.

Existen grandes compañías enfocadas a la manufactura de quemadores para la industria del vidrio, las cuales diseñan según las condiciones de operación y diferentes configuraciones establecidas para garantizar procesos óptimos.

⁵ Manual de Operación de Hornos O-I

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL



Figura 10: Esquema Desarrollo Experimental

3.1 Evaluación y Diagnóstico Inicial Horno 116A:

El H116A es un horno Side-Port regenerativo, con tres puertas de quemado a gas natural. Los planos y las dimensiones se relacionan en los Anexos C, D y E.

En un rediseño del horno se eliminó una de las puertas de quemado, esto redujo el área de fusión y por lo tanto de transferencia de calor. Como consecuencia, los requerimientos energéticos han aumentado para mantener las corrientes convectivas adecuadas y garantizar la calidad del vidrio.

Estructuralmente el horno 116A es longitudinalmente corto para garantizar el tiempo de residencia que permita obtener buena calidad sin altos consumos energéticos. En cuanto al cargue de la mezcla, el horno cuenta con un cargador que alimenta la mezcla alternativamente en dos posiciones fijas, esto dificulta una buena distribución de los baches en la cámara de fusión.

Las condiciones de operación son muy inestables, estas dependen de la extracción.

En el Anexo F se relacionan los promedios de las variables operacionales de interés desde Enero del 2008 hasta Junio del 2009 y sus respectivas gráficas.

- El proceso es más rentable a altas extracciones. La extracción y la energía son inversamente proporcionales.
- El consumo de Boosting eléctrico es directamente proporcional a la extracción. Su consumo no se justifica a bajas extracciones.
- Las semillas tienen un comportamiento proporcional a la extracción. Y su valor promedio es 13,12 semillas/onza
- El comportamiento de las temperaturas de fondo y de la puerta dos, en su mayoría es proporcional.

3.2 Investigación tecnológica y operacional sobre quemadores en la puerta cero

Se decide instalar quemadores Eclipse Serie 04V (Ver Anexo I), teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Estructuralmente la puerta cero ya tenía su espacio definido en el horno, únicamente había que definir el tipo de quemador a instalar.

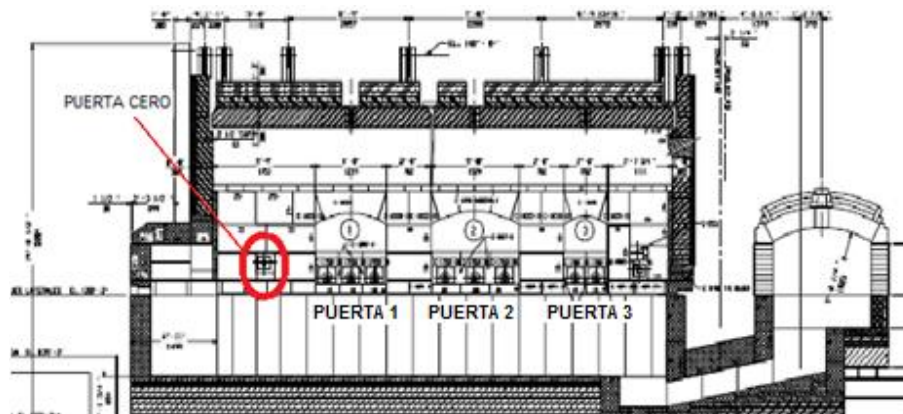


Figura 11: Plano Sección longitudinal H116A

Estos quemadores cuentan con una boquilla de mezcla (aire/gas), y son ideales para aplicaciones en la industria del vidrio.

- Operan con: Aire frío/caliente. Combinación Fuel Oil y Gas

- Elaborado en acero inoxidable. Larga vida útil.
- Cuenta con un orificio de gas ajustable para un mejor control de la llama.
- Para uso con crudo se atomiza aire o vapor de aire a 40psig (2,76bar).
- Capacidad de variación llama con crudo.
- Ajuste de aire adicional para controlar la capacidad de la llama.
- Para no provocar desgaste del refractario, es pertinente operar el quemador manteniendo la temperatura del muro de carga por debajo de 1550°C. Esto evitará la aparición indeseable de piedras en el vidrio.
- El aire de combustión empleado en la puerta cero será derivado directamente de la tubería madre del sistema de aire de enfriamiento. Esto implica que la corriente entra sin precalentar y que el máximo flujo disponible es de 11.290 SCFH.
- La corriente de gas que alimentara la puerta cero se deriva de la línea de gas que alimenta a la puerta uno.
- Para controlar los flujos tanto de gas como de aire se instalarán medidores de presión diferencial Magnehelic Serie 2000. Esto permitirá establecer el Ratio a manejar. Ver Anexo J.

3.3 Instalación quemadores en la puerta cero

El sistema de quemado instalado en la puerta cero se aprecia en Anexo G.

3.4 Pruebas operacionales

Con el fin de encontrar las condiciones de operación favorables de los quemadores y propiciar una buena combustión, se hacen variaciones en el ratio, con seguimiento a las corrientes de convección, a las variables operacionales y a los resultados de calidad en el vidrio, para establecer si

existe una relación que favorece al alcance de los objetivos de la implementación de dichos quemadores.

Gracias a datos históricos de sistemas similares operados en otros hornos de la compañía, se parte de Ratios donde se han obtenido resultados favorables. Los flujos de gas y de aire requeridos para los Ratios a probar se totalizan con un medidor de desplazamiento positivo (Ver sección 4.1)

Las pruebas se realizaron en operación normal del horno, donde se presentaron variaciones de extracción por el programa de producción, sin embargo se recopilaron datos en condiciones similares para evitar ruidos en el análisis posterior. Las variables a las cuales se les hizo seguimiento durante las pruebas, con registros cada dos horas, fueron:

- Temperaturas (°C), de: coronas, puertas, piso del tanque (BTMLK) y muro del cargadero (CEW): estas temperaturas y la diferencia entre las mismas establecen las corrientes convectivas necesarias en la cámara de fusión para fundir adecuadamente la mezcla y promover la afinación térmica necesaria para obtener buena calidad en el vidrio producido. La temperatura del piso está controlada por un termopar y las demás son temperaturas ópticas tomadas con un Pirómetro (Ver Anexo K).
- Conteos de Semillas: este se estableció como el parámetro para evaluar la calidad del vidrio.
- Consumos energéticos: MJ/Ton fundida.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Cálculo Gas/Aire Quemadores puerta cero

Se diseñó una hoja de cálculo que entrega el volumen de gas y de aire requerido por el quemador de la puerta cero para determinado RATIO. El volumen se totaliza en un medidor de desplazamiento positivo, y los cálculos se basan en el diseño de la platina de orificio y las condiciones de la línea (presión, temperatura y caída de presión) para obtener un volumen real. Ver Anexo L.

	RATIO		
	12	13	14
Temperatura (°C)	23	23	23
Presión (Psig)	1,08	1,08	1,08
Lectura Magnehelic (in H ₂ O)	4,54	3,87	3,33
Flujo Gas (SCFH)	842	777	721
Flujo Aire Combustión(SCFH)	10098	10098	10098

Tabla 1: Flujo de Gas y Aire calculados para diferentes Ratios

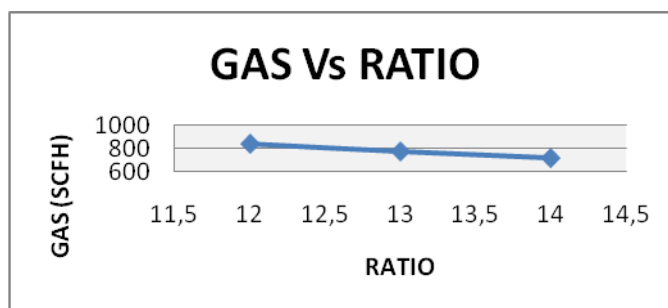


Figura 12: Gas requerido Vs Ratio

4.2 Análisis de Registros

En el Anexo M se relacionan los registros tomados cada dos horas durante las pruebas.

Figura 13: Seeds (Ratio 12, 13,14)

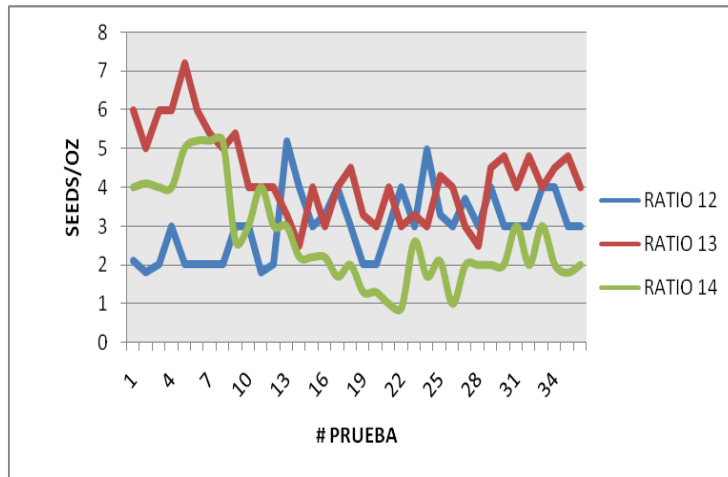


Figura 14: Fondo (Ratio 12,13,14)

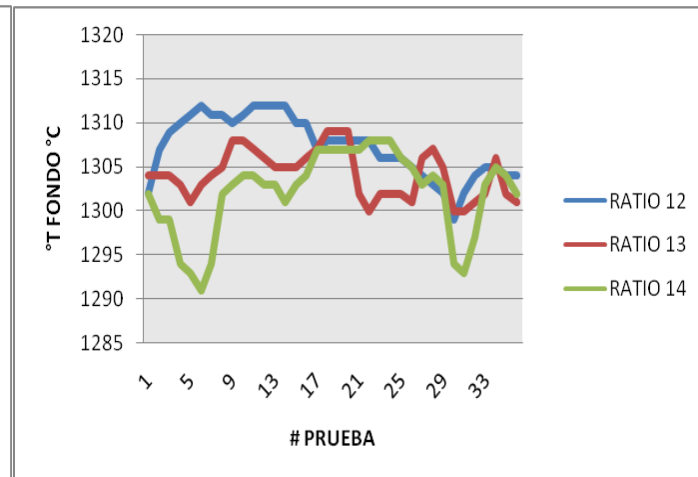


Figura15: Energía (Ratio 12, 13,14)

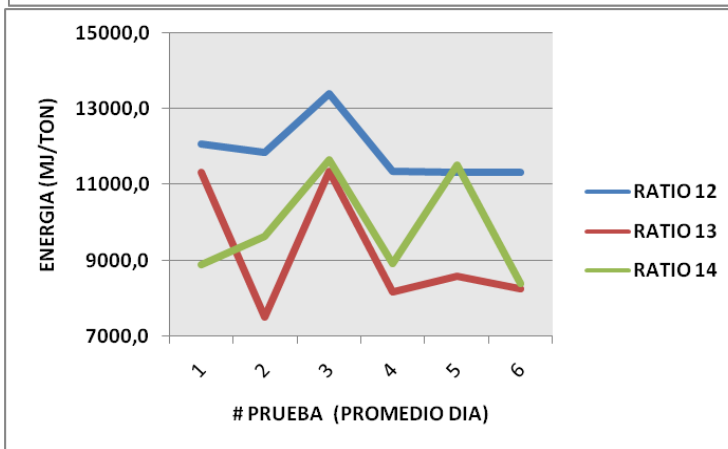
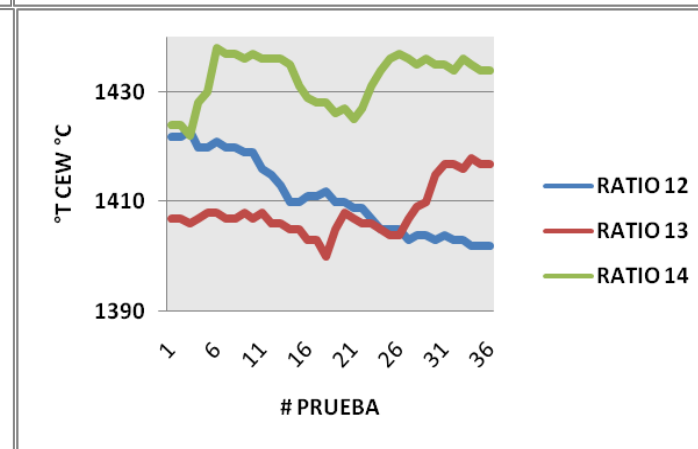


Figura 16: CEW (Ratio 12,13,14)



Los comportamientos de las variables bajo los tres Ratios se aprecian en las figuras 13, 14, 15 y 16.

- Con Ratio 14 se emplea menos gas en la puerta cero; los resultados indican que se obtuvo una mejor combustión, mejor transferencia de calor y se apreció una buena distribución de llama. Las temperaturas del muro del cargadero (CEW) son más altas bajo esta condición de operación.
- La temperatura de fondo más baja se obtuvo con Ratio 14, lo cual indica que el quemador cero bajo esta condición aporta significativamente al proceso temprano de fusión. Adicionalmente una menor temperatura de fondo se traduce en ahorro energético.
- Se alcanzaron los objetivos en cuanto a calidad del vidrio con Ratio 12 y 14, sin embargo los consumos energéticos más favorables se obtuvieron con Ratio 14.
- La puerta cero mejora las corrientes convectivas, esto se refleja en una mejora significativa de los conteos de semillas.
- La temperatura del muro de cargue nunca sobrepasó los 1550°C, es decir no se afectó la estructura del horno mientras las pruebas.

4.2.1 GRADIENTES DE TEMPERATURAS

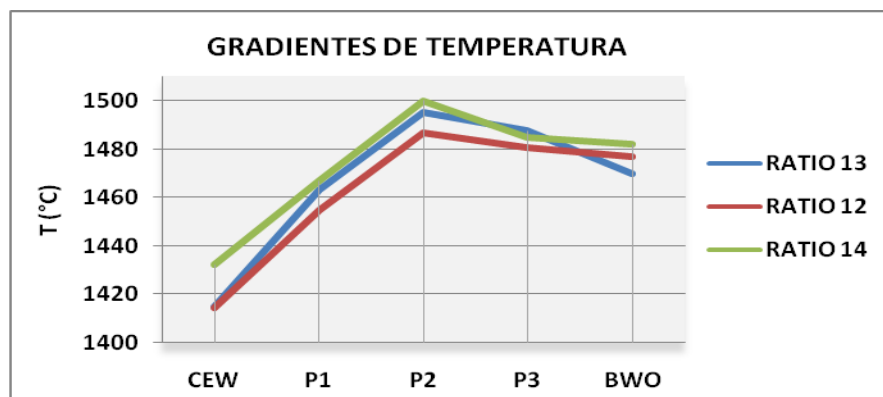


Figura 17: Gradientes de Temperaturas obtenidos con diferentes Ratios

- Los gradientes obtenidos con los diferentes ratios conservan una tendencia general similar, sin embargo se aprecia que con ratio 12 y 13 no hay diferencia significativa en el calentamiento inicial de la cámara de fusión. Con ratio 14 en cambio, se aprecia el efecto de calentamiento temprano iniciando la curva de calentamiento 17,6 grados por encima.
- Según la experiencia en operación de hornos, un gradiente que maximice las corriente convectivas debe tener un delta de temperatura entre el punto caliente (P2) y el muro de garganta (BWO) entre 11 y 22 °C. De los gradientes obtenidos en las pruebas el único que cumple este rango es el de ratio 14.

4.2.2 Comparación datos con y sin quemadores en la puerta cero

El gradiente de temperatura más favorable para la operación (el obtenido con ratio 14), se compara con un gradiente obtenido a condiciones similares de extracción y sin operación de quemadores en la puerta cero.

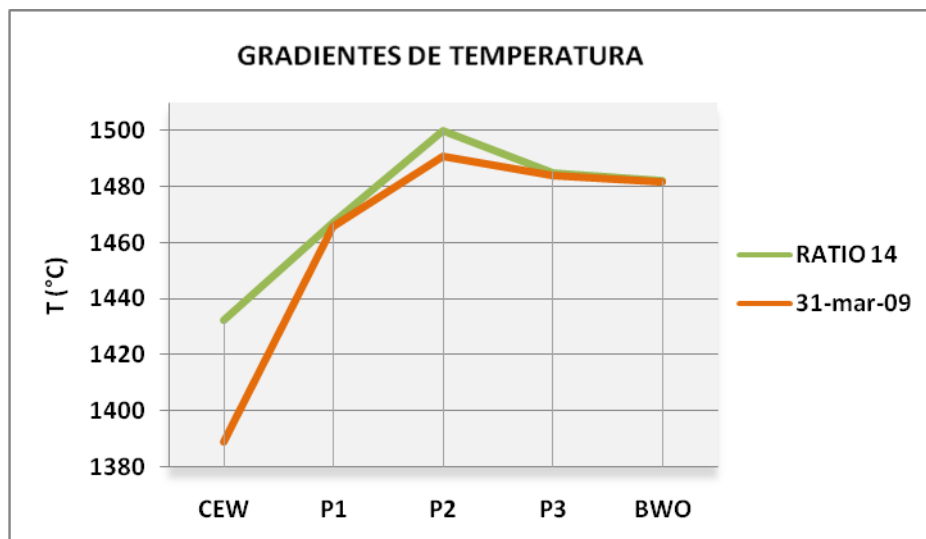


Figura 18: Gradiente de Temperatura (con y sin puerta de quemado cero)

- Con los quemadores en la puerta cero se propicia el calentamiento temprano en la cámara de fusión. La curva de temperatura inicia con 43,3°C de más.
- El calentamiento a lo largo de la cámara de fusión hasta el punto caliente se atenúa notablemente con el calentamiento temprano promovido por la puerta cero. Esto se traduce en menos consumo de gas en las demás puertas.
- Al propiciar la fusión desde el inicio de la cámara, la distribución de la mezcla se mantiene mucho más controlada hacia la parte de atrás, lo cual garantiza una buena afinación del vidrio a través del tanque y se refleja en la disminución de las semillas.

En la tabla 2 se relacionan los promedios de las variables de interés bajo los tres Ratios de prueba con los quemadores de la puerta cero y el promedio de un mes con similares condiciones de operación cuando el Horno operaba sin la puerta cero.

	CEW	P1	P2	P3	BW O	SEED S	BTMLK	MJ/TO N	Gas m3
RATIO 13	1415	1463,2 1	1495, 4	1487,6 7	1470	4	1304	9202	10212
RATIO 12	1414, 7	1454,7	1486, 7	1480,6	1477	3	1307	11897	14793
RATIO 14	1432, 3	1467	1500	1485	1482	3	1302	9847	9487
mar-09	1389	1466	1491	1484	1482	12	1317	9645	15819

Tabla 2: Valores Operacionales Promedios (Con y sin Puerta cero)

- A mayor temperatura en el muro del cargadero (CEW) las semillas tienen mejor comportamiento.

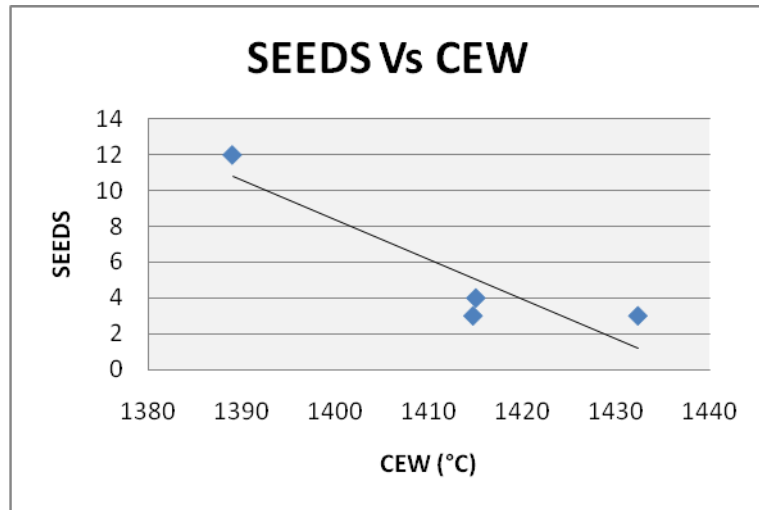


Figura 19: Seeds Vs CEW

- Para extracciones similares se consume menos gas operando el horno con los quemadores en la puerta cero que sin ellos:

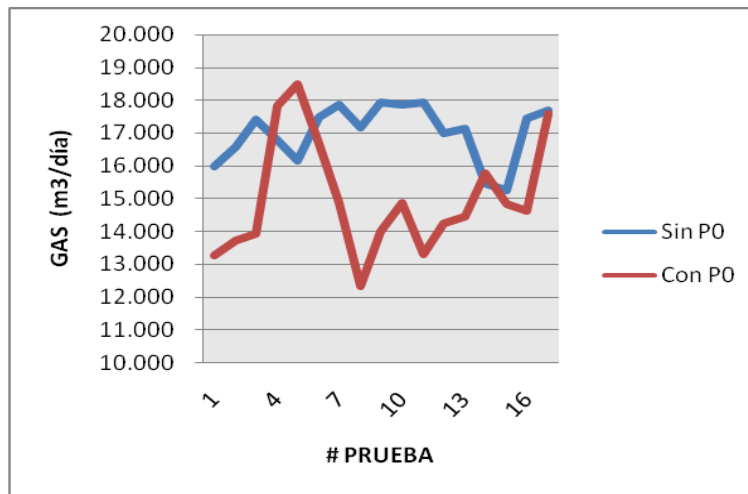


Figura 20: Consumo Gas diario (Con y sin puerta de quemado cero)

- Un buen rango de diferencia de temperatura entre el punto caliente (P2) y el muro de cargadero (CEW) está entre 70 y 110 °C. Aunque casi todos los datos caen dentro del rango, los del límite inferior dieron mejor resultado de calidad.

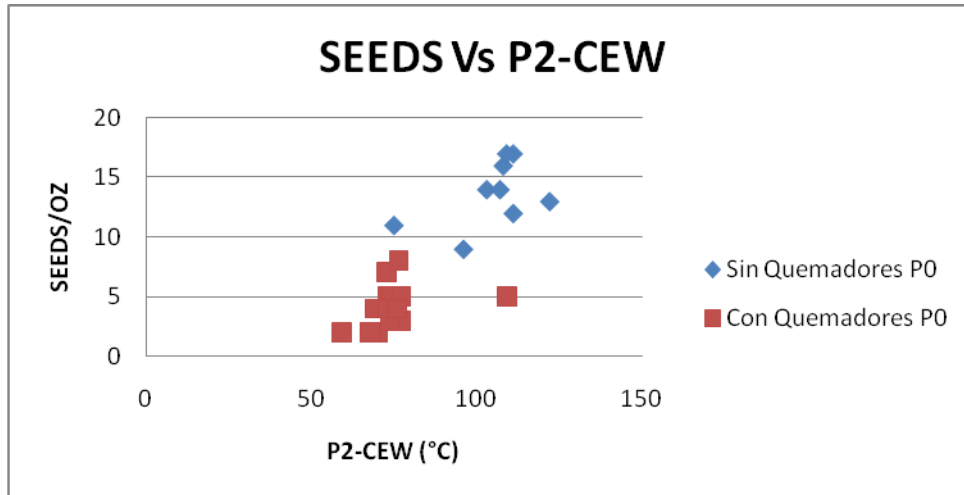


Figura 21: Seeds Vs P2-CEW

4.2.3 Análisis de variables:

Se analizaron los registros tomados en las pruebas operacionales para detectar relaciones importantes entre las mismas. Ver anexo N

5. CONCLUSIONES

- La implementación de quemadores en la puerta cero del Horno 116A funciona como alternativa de mejora de calidad del vidrio. Su operación promueve la fusión temprana de la mezcla provocando un efecto similar al de un aumento en el tiempo de residencia del vidrio en la cámara de fusión. Los conteos de semilla en la producción disminuyeron en un 75% aproximadamente, lo cual permite asumir el mercado de los *Licores Premium* garantizando las necesidades del cliente.
- Los quemadores deben operar bajo un Ratio de 14, la combustión así generada crea una curva de temperatura favorable en la cámara de fusión; propicia adecuadas corrientes convectivas, disminuye la temperatura de fondo del tanque, mantiene el avance de mezcla controlada, genera una buena longitud de llama que sin transmitir mucha energía a la estructura del horno, sí suministra la cobertura suficiente para fundir los baches de mezcla adecuadamente.
- No se disminuyeron los consumos energéticos con la puerta cero en operación, se dió un aumento promedio de 2% en los MJ/Ton que se venían consumiendo. Dicho aumento se justifica como una oportunidad de mejora ante la necesidad de responder a una nueva exigencia de calidad del vidrio que traerá como consecuencia la apertura de un mercado de forma rentable.

6. RECOMENDACIONES

- Buscar estabilidad en los programas de producción de tal forma que se minimicen al máximo los cambios drásticos de extracción. Así se facilita el control de las variables de proceso.
- Cambiar el tipo de cargador empleado para alimentar el horno. Un cargador oscilante permite una mejor distribución en la entrega y facilita el proceso de fusión en la parte de atrás del tanque.
- Realizar otra serie de pruebas operacionales con diferentes Ratios a fin de buscar mejores condiciones.
- Llevar registro, varias veces al día de las presiones de gas a la entrada de los quemadores, para poder así, controlar la velocidad y la longitud de llama apropiada para el proceso.

7. BIBLIOGRAFÍA

- FERNANDEZ NAVARRO, José María. El Vidrio. Editorial CSIC. Madrid España. 1991. Pág 20-23-150-155-165-200
- FERRANDIS V, Alexandre. Fundamentos fisicoquímicos de la fabricación del Vidrio. Editorial Aguilar. Madrid España. 1962. Pág 50, 112-114, 119, 133.
- DALLY, James W., Instrumentation for Engineering Measurements, Nueva York, 1984.
- ROSS PHILIP C. Glass Melting Technology
- OWENS ILLINOIS, Furnace Handbook, 1997
- <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion12.VIDRIO.HornoFUSION.pdf>

8. ANEXOS

ANEXO A: DESCRIPCIÓN PROCESO

RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS: Cristalería Peldar S.A. cuenta con una mina y planta de arena en donde se extrae y procesa la arena requerida para el proceso de fabricación de vidrio. Adicionalmente cuenta con proveedores de caliza, carbón y feldespato nacionales. Debido a los requerimientos de calidad de algunas materias primas como la soda ash, el sulfato de sodio, algunos colorantes y constituyentes menores es necesario importar estos materiales de plantas ubicadas en Estados Unidos.

La calidad de las materias primas se garantiza mediante el proceso de certificación de los proveedores y a través de análisis físico-químicos de los diferentes materiales en laboratorio de planta y análisis físico-químicos en Monarch Lab (laboratorio estadounidense donde se realiza control de calidad de la materia prima y el vidrio). Los materiales son recibidos en bodegas o tolvas. Para el caso del casco externo se realiza una inspección de la calidad del mismo antes de ser depositado en la tolva.

ALMACENAMIENTO: Las materias primas principales, arena, feldespato, soda y caliza, son almacenadas en un silo general con diferentes secciones para cada uno de estos materiales. El casco es almacenado en otro silo y en diferentes secciones según su procedencia: casco interno o de la planta, casco externo o resultado de los programas de reciclaje y casco procedente de las plantas embotelladoras (este casco es el resultado de la finalización de la vida útil del envase retornable).

Las materias primas menores se almacenan en una bodega para realizar su

preparación o mezclado manual.

PESADO: En el área de mezclas las materias primas son extraídas de los silos por medio de alimentadores vibratorios, estos materiales son entonces pesados en tolvas básculas que alimentan la materia prima a través de elevadores y bandas a la mezcladora. La cantidad requerida de cada material es determinada por el balance de masa realizado partiendo de la composición del vidrio requerida para el proceso.

En esta etapa es además realizado un pesado manual de las materias primas menores, sulfato, carbón y colorantes, los cuales son adicionados a la báscula central, de esta forma se determina el peso total del batch.

MEZCLADO: Para garantizar una completa homogeneización de la mezcla las materias primas pesadas se llevan por medio de un elevador a la sección de mezclado y se realiza esta operación en 4 minutos.

TRANSPORTE A SILOS DE HORNOS: La mezcla es transportada a los silos de almacenamiento de los hornos a través de elevadores y bandas. El control de cantidad de mezcla en los silos es realizado por medio de sensores de nivel. La mezcla de los silos es alimentada al horno por medio de hidromezcladores cuya función es ajustar la humedad de la mezcla entre 2.5 a 3.5% y realizar un mezclado adicional para reducir la segregación que se haya formado en el proceso de transporte a silos. La mezcla es introducida al horno a través de cargadores de velocidad variable y que operan de acuerdo con control de nivel de vidrio del horno.

FUSIÓN: Una vez la mezcla ha sido introducida en el horno comienza el proceso de fusión, éste proceso se realiza a 1550°C de temperatura interna

en la bóveda o cámara de fusión del horno. En esta zona las materias primas son fundidas gracias a las reacciones que se presentan entre ellas y el calor suministrado por la combustión del Gas Natural.

Dentro del proceso de fusión es de vital importancia tener un buen control sobre:

- Composición del vidrio y de la mezcla, incluyendo los efectos causados por los constituyentes menores.
- Temperatura de fusión o de operación del horno.
- Granulometría de las materias primas.
- Cantidad, calidad y tamaño de partícula del casco.
- Homogeneidad de la mezcla.
- Humedad de la mezcla.

AFINADO: Posterior al proceso de fusión es necesario realizar dentro del mismo horno el proceso de afinado, el cual consiste en retirar las burbujas y semillas que se hayan producido en el proceso de descomposición de los carbonatos y sulfatos de la mezcla. Este proceso ocurre en el último cuarto de área del horno. En esta zona se realiza el primer enfriamiento del vidrio permitiendo así la disolución de las semillas en el vidrio.

ACONDICIONAMIENTO: La temperatura del vidrio que sale del horno esta alrededor de 1300°C, por lo tanto se debe comenzar a realizar un proceso de enfriamiento controlado de la temperatura del vidrio para llevarlo a la temperatura de formación de gota, esta temperatura es variable y depende de las condiciones de operación de la máquina y características del envase. Este enfriamiento es realizado en unos canales refractarios con un sistema de calentamiento lateral y enfriamiento central para garantizar la misma temperatura del vidrio en el sentido transversal del canal.

FORMACIÓN DE ENVASES: Los envases son producidos en máquinas formadoras tipo I.S. (individual section) en procesos de gota sencilla, doble y triple gota, dependiendo de las características de la máquina. Los procesos de formación del envase son realizados bajo operaciones de soplado con aire a presión y prensado. Las velocidades de formación de envases dependen de las características del envase y las máquinas, cuya producción normalmente oscila entre 100 a 500 botellas por minuto. Dentro del proceso de formación de envases se determinan tres tipos diferentes de procesos:

- Prensado y soplado boca ancha.
- Soplado - soplado.
- Prensado y soplado boca estrecha.

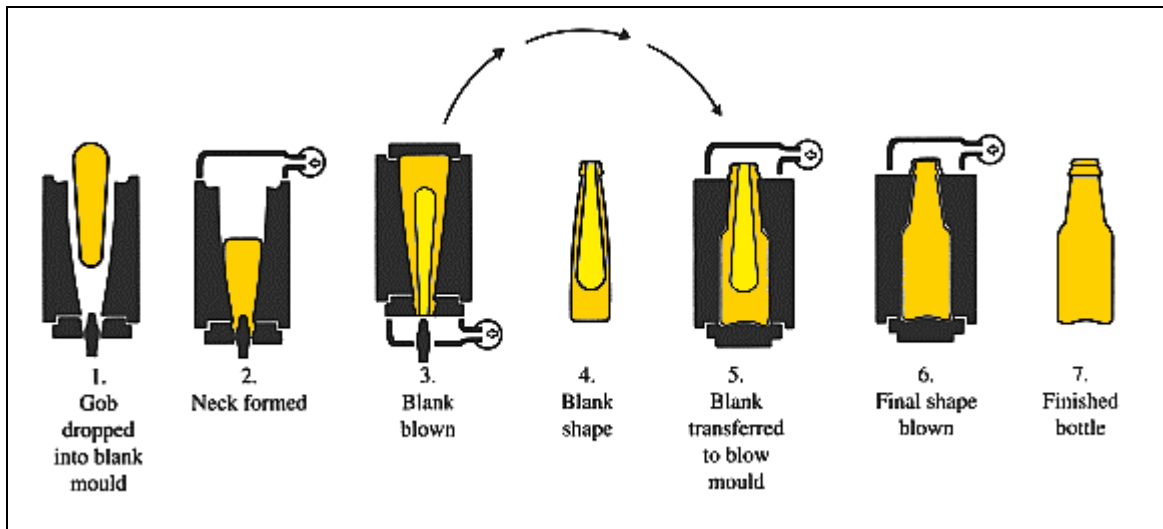


Figura 22: Formación de Envases ⁶

RECOCIDO: Las botellas formadas con aire sufren una serie de drásticos cambios térmicos que dan lugar a la formación de esfuerzos en sus paredes lo cual debilita su propiedad de resistencia al llenado en líneas de alta presión como las empleadas en las embotelladoras. Para mejorar esta

⁶ British Glass Manufacturers Confederation (BGMC), 1999.

propiedad del envase es necesario realizar el proceso de recocido el cual consiste en calentar la botella hasta 10°C por encima del punto de recocido⁷, 570°C, y luego realizar un enfriamiento lento y controlado de 5°C/min. De esta forma se garantiza una mínima formación de esfuerzos en el envase y mayor resistencia a la presión interna. Este proceso se realiza en un horno continuo ó archa recocedora.

TRATAMIENTO DE SUPERFICIE: Las botellas recocidas son transportadas por medio de bandas transportadoras metálicas a las diferentes unidades de inspección de defectos y empaque, presentándose rozamiento entre ellas. Para evitar el rayado de la producción en este transporte es necesario adicionar un material parafínico que crea una película externa protectora del envase. Este tratamiento es realizado al final del horno de recocido y se aplica en forma de líquido atomizado.

INSPECCIÓN AUTOMÁTICA: Cristalería Peldar S.A. cuenta con máquinas inspectoras de calidad en donde se realiza un análisis de los defectos del envase y una posterior clasificación. Los envases aceptados son enviados a la sección de empaque y los rechazados al sótano los cuales son triturados y empleados de nuevo en el proceso como casco interno. Los defectos analizados en esta sección están ajustados de acuerdo con las especificaciones de calidad exigidas por el cliente ó por normas técnicas.

EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO: En la planta existen tres diferentes procesos de empaque: paletizado que permite empacar un gran número de

⁷ **Punto de recocido:** Es un control de temperatura manejado entre 600-700°C para que el vidrio no sufra cambios bruscos de temperatura después de salir del horno y así mismo darle las propiedades de tensión y compresión.

botellas en espacio reducido y con ahorro de materiales requeridos; empaque en caja de cartón y empaque en caja plástica. Las líneas de empaque son ajustadas a los requerimientos del cliente. Una vez empacado el envase es colocado en estibas de madera para luego ser almacenadas en las diferentes áreas asignadas en la bodega de acuerdo con la referencia y la fecha de despacho.

ANEXO B: TRANSFERENCIA DE CALOR

El intercambio por radiación se puede describir por las siguientes relaciones:

- Desde el vidrio:

$$M_U = \varepsilon_G \sigma T_G^4 + (1 - \varepsilon_G) M_I$$

- Hacia el vidrio:

$$M_I = \varepsilon_V \sigma T_V^4 + (1 - \varepsilon_V) M'_U$$

- Desde la corona :

$$M'_U = \varepsilon_K \sigma T_K^4 + (1 - \varepsilon_K) M'_I$$

- Hacia la corona :

$$M'_I = \varepsilon_V \sigma T_V^4 + (1 - \varepsilon_V) M_U$$

La transferencia de calor neta de la llama al vidrio se puede calcular mediante la siguiente expresión*:

$$Q_{NETO} = M_I - M_U = \frac{A\sigma(T_V^4 - T_G^4) + B\sigma(T_K^4 - T_G^4)}{C}$$

Donde, los valores de coeficientes de emisión son:

- Superficie del vidrio fundido ($\varepsilon_G = 0.8$)
- De la llama (ε_V)
- De la corona ($\varepsilon_K = 0.5$)

- T_G , T_V y T_K son las temperaturas del vidrio, la llama y la corona respectivamente.

ANEXO C: PLANO VISTA SUPERIOR HORNO 116A

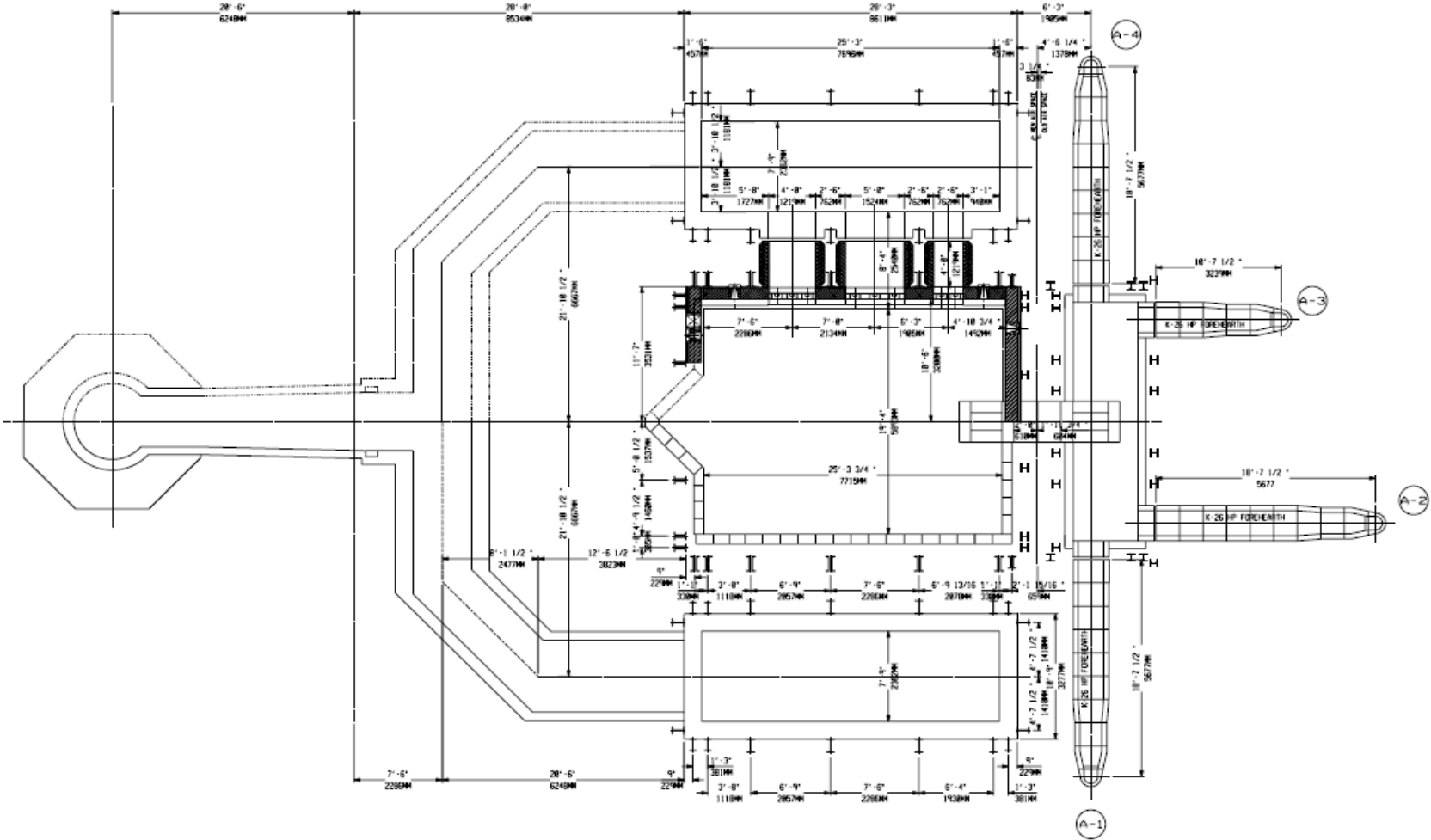


Figura 23: Plano Vista superior H116A

ANEXO D: PLANO VISTA LATERAL HORNO 116A

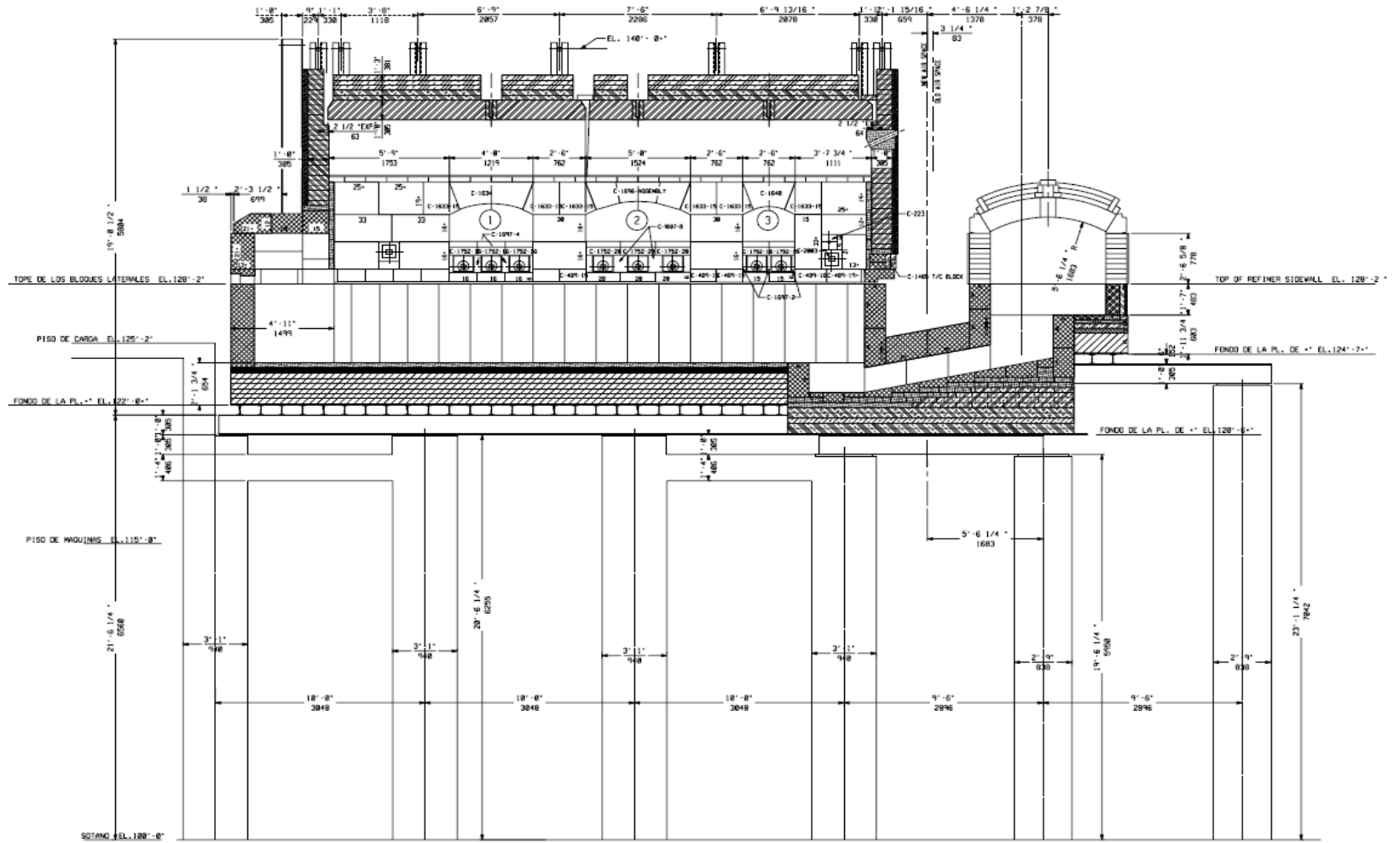


Figura 24: Vista lateral H116A

ANEXO E: DIMENSIONES HORNO 116A

CÁMARA DE FUSIÓN	Ancho	5,9m
	Largo	7,7m
	Área de fusión	45,43m ²
	Espesor de muros	0,385m
REGENERADORES	Ancho	2,36m
	Largo	7,7m
	Área interna	18,17m ²
	Espesor de muros	0,457m
PUERTA 1	CEW-Eje P1	2,28m
	Largo	1,22m
	P1-P2	0,79m
PUERTA 2	Eje P1 - Eje P2	2,13m
	Largo	1,524m
	P2-P3	0,79m
PUERTA 3	Eje P2 - Eje P3	1,9m
	Largo	0,79m
	P2-BWO	1,03m
	P3-Regenerador	1,22m
ALIMENTADORES	Longitud A1	5,68m
	Longitud A2	5,68m
	Longitud A3	3,24m
	Longitud A4	5,68m

Tabla 3: Dimensiones H116A

ANEXO F: VARIABLES OPERACIONALES PROMEDIO H116A 2008-2009

Los valores relacionados fueron promediados de la planilla de operación del Horno 116A creada con registros diarios por Cristalería Peldar S.A.

FECHA	Gas m3/día	SEEDS	Pull (Ton/Día)	MJ/Ton	BTMLK	P2	CEW	
2008	01	15.989	10	78,7	6935	1302	1497	1394
	02	16.586	9	76,3	7345	1303	1494	1393
	03	17.420	14	92,1	6624	1307	1500	1397
	04	16.791	16	90	6811	1314	1508	1406
	05	16.179	12	85	6686	1314	1500	1398
	06	17.503	13	93,8	6635	1323	1509	1400
	07	17.874	13	95,1	6666	1323	1511	1405
	08	17.181	14	85,6	7002	1305	1501	1398
	09	17.936	17	100,8	6502	1313	1514	1403
	10	17.874	16	94,3	6743	1315	1507	1399
	11	17.946	17	92,8	6930	1316	1506	1397
2009	01	16.993	14	81,8	7169	1315	1503	1396
	02	17.157	12	78,1	7563	1316	1504	1393
	03	15.491	13	64,7	8238	1308	1500	1378
	04	15.271	9	59,7	8916	1322	1489	1393
	05	17.477	11	72,6	8611	1299	1500	1425

Tabla 4: Variables Promedio H116A 2008-2009

ANEXO G: SISTEMA DE QUEMADO INSTALADO PURTA CERO

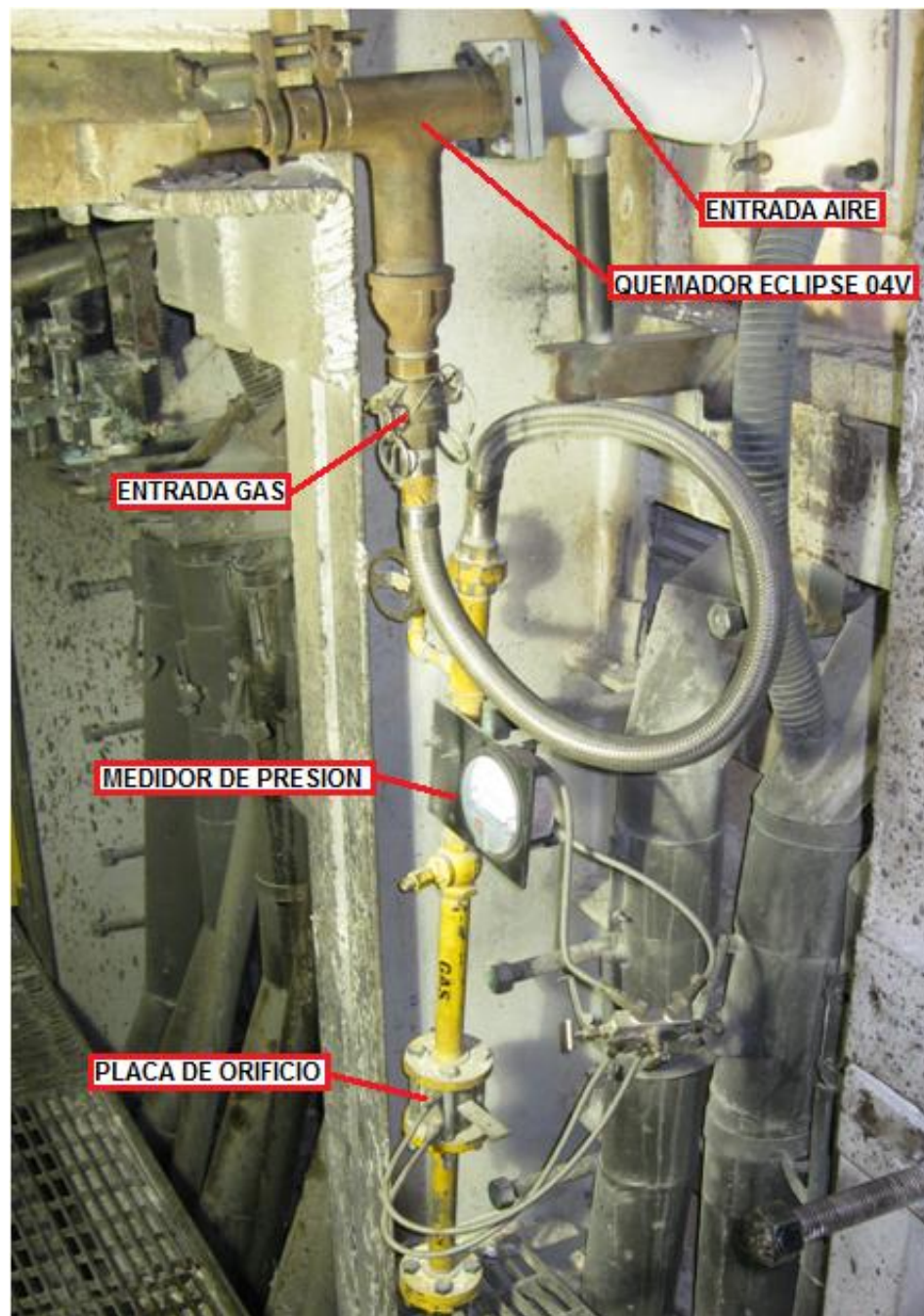


Figura 25: Puerta de Quemado Cero

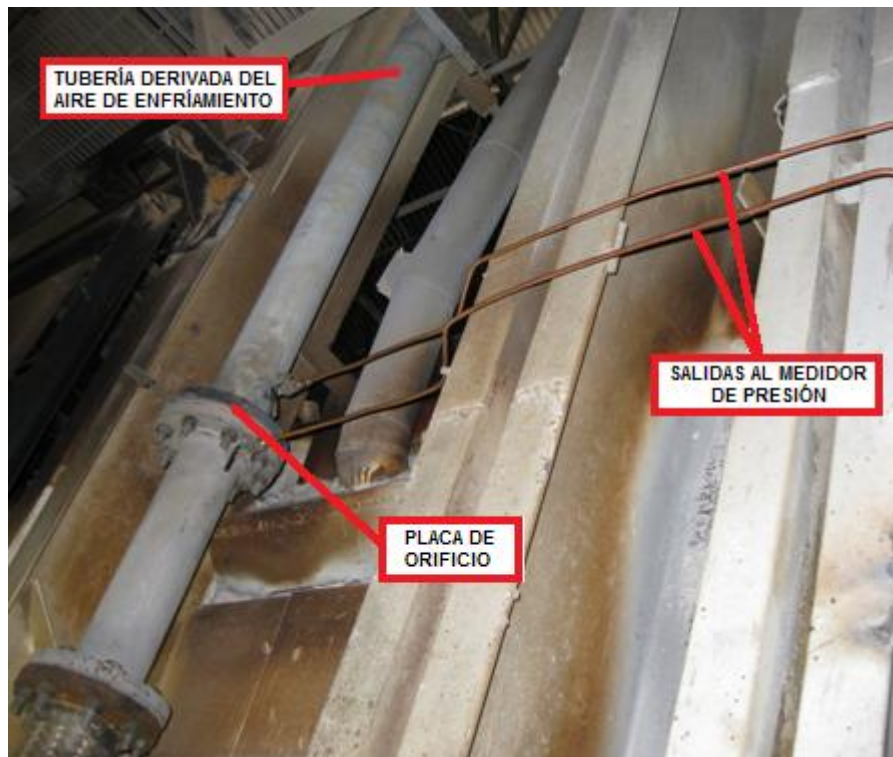


Figura 26: Aire de Combustión Puerta Cero

ANEXO H: TENDENCIAS VARIABLES OPERACIONALES 2008-2009

Figura 27: Seeds Vs Pull

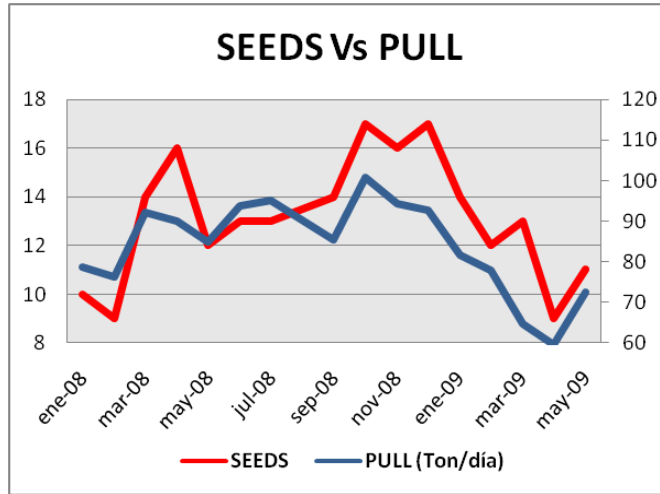
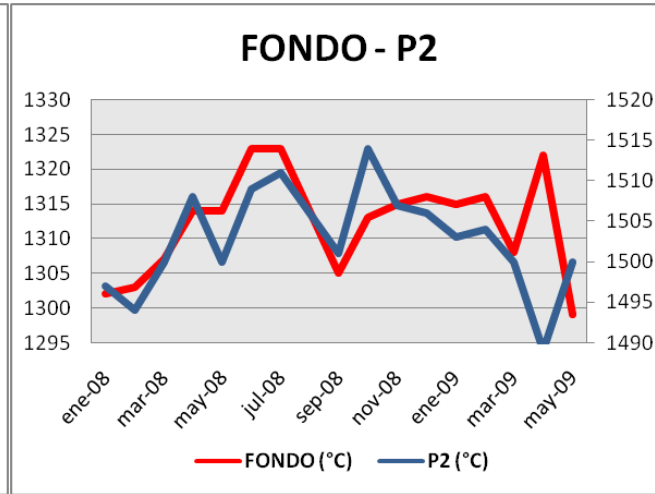


Figura 28: Fondo Vs P2



BOOSTING Vs PULL

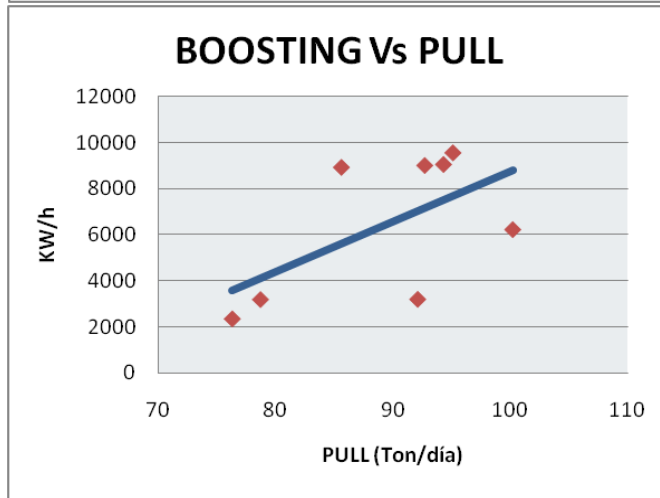


Figura 29: Boosting Vs Pull

ENERGÍA Vs PULL

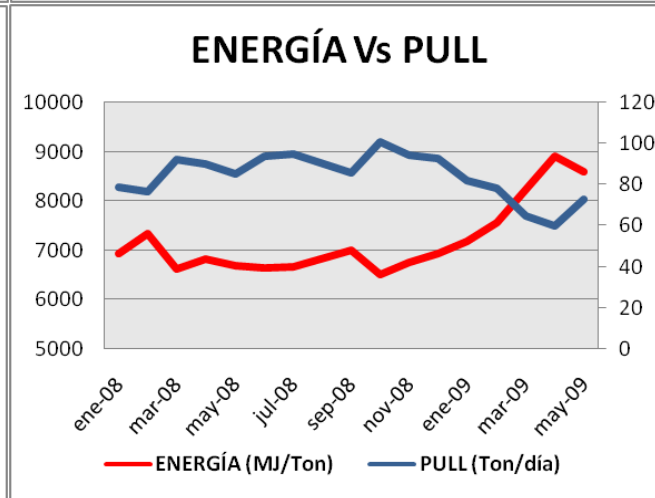


Figura 30: Energía Vs Pull

ANEXO I: PLANO QUEMADOR ECLIPSE 04V

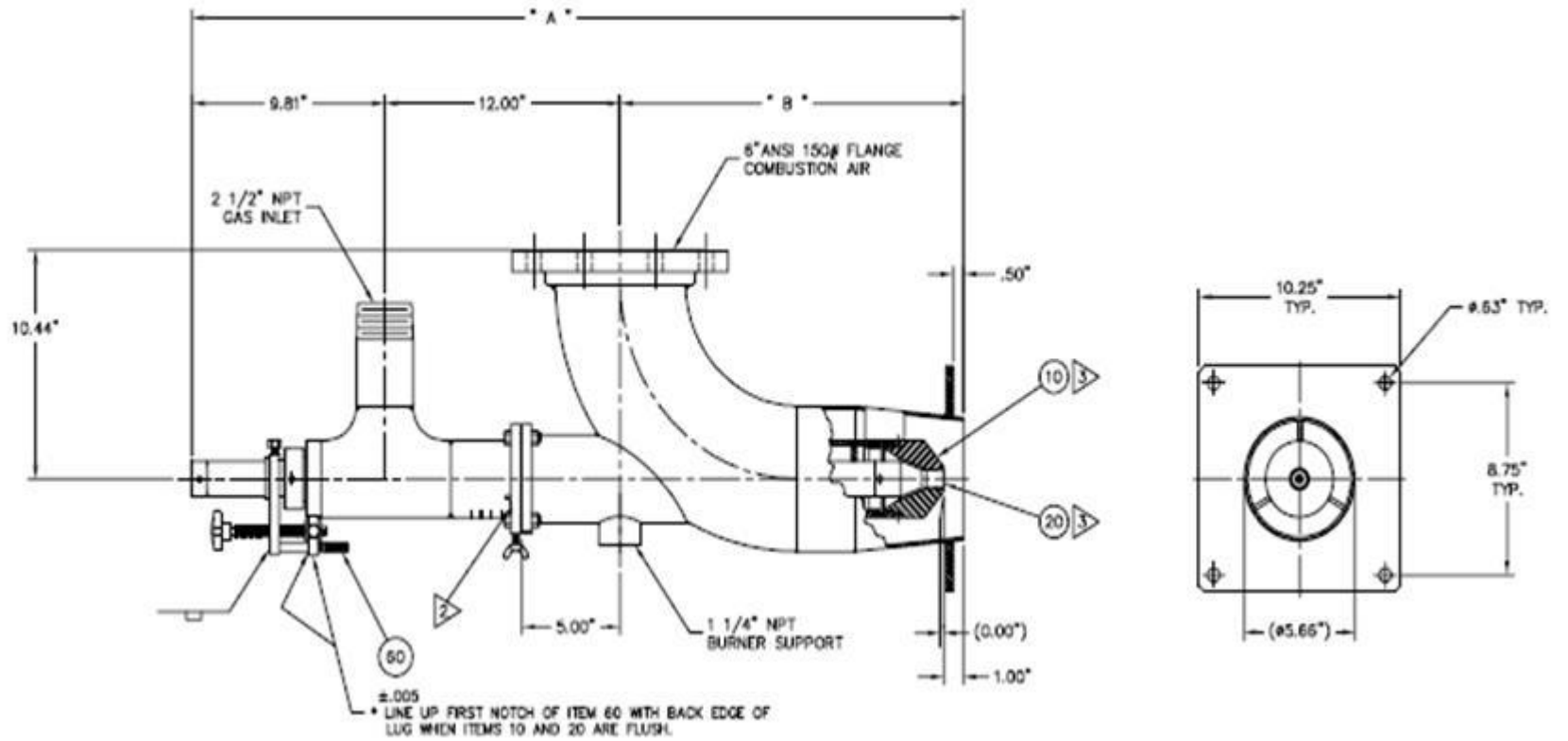


Figura 31: Plano quemador Eclipse 04V

ANEXO J: MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL MAGNEHELIC 2000



Figura 32: Magnehelic Modelo 2000

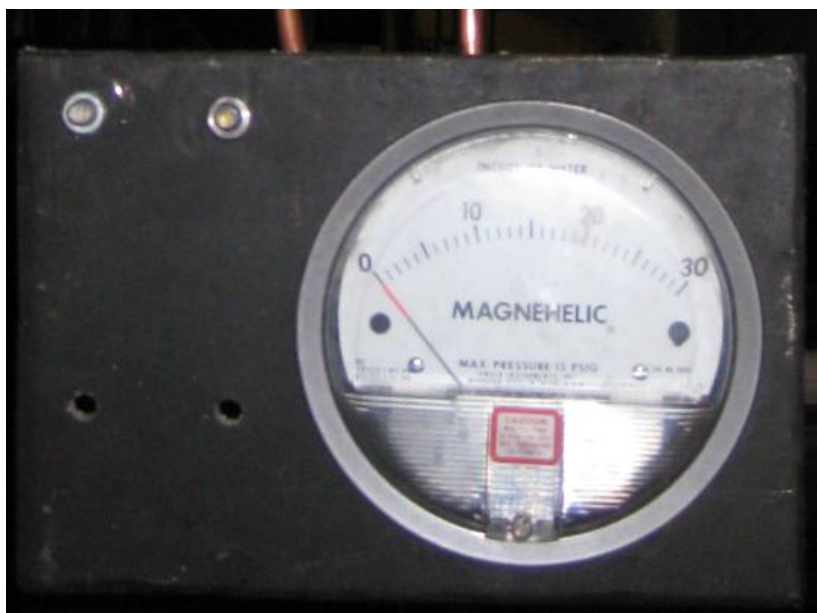


Figura 33: Magnehelic 2000 Instalado H116A

ANEXO K: PIRÓMETRO



Figura 34: Pirómetro

Los pirómetros ópticos se emplean para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700°C . A esas temperaturas los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia. El color con el que brilla un objeto caliente varía con la temperatura desde el rojo oscuro al amarillo y llega casi al blanco a 1300°C . Este tipo de pirómetros utilizan un método de comparación como base de operación. En general, una temperatura de referencia es proporcionada en forma de un filamento de lámpara eléctricamente calentada, y la medición de temperatura es obtenida

comparando de manera óptica la radiación visual del filamento contra la de la fuente de calor a medir. En principio, la radiación de una de las fuentes, como la ve el observador, es ajustada hasta coincidir con la radiación de la otra fuente.

La siguiente figura ilustra de forma esquemática la estructura de un pirómetro de intensidad variable.

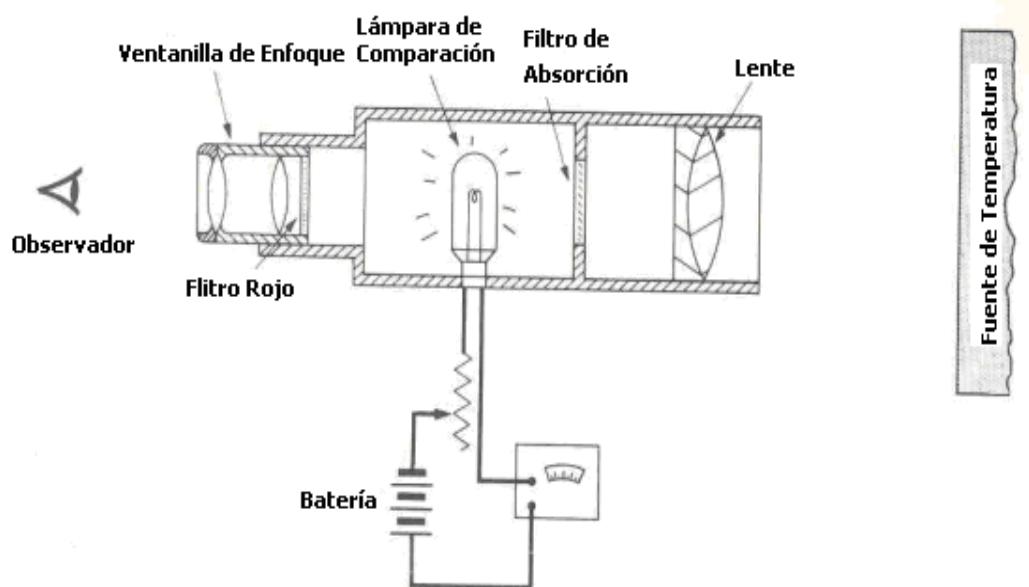


Figura 35: Diagrama esquemático de un Pirómetro óptico⁸

En uso, el pirómetro es puesto en dirección de la fuente u objeto a analizar a una distancia adecuada para que la lente del pirómetro enfoque la fuente en el plano del filamento.

⁸ DALLY, James W., Instrumentation for Engineering Measurements, Nueva York, 1984.

ANEXO L: CALCULO DE FLUJO PLATINA DE ORIFICIO

ORIFICE PLATE FLOW CALCULATION			
Q2 = Unknown Flow			
Q1 = Design flow from orifice plate data sheet			
DP2 = Measured differential pressure			
DP1 = Design differential pressure from orifice plate data sheet			
P2 = Measured line pressure immediately upstream of orifice plate			
P1 = Design normal pressure from orifice plate data sheet			
T2 = Measured gas temperature			
T1 = Design temperature of gas from orifice plate data sheet			
SP. GR. 2 = Specific gravity of gas used			
SP. GR. 1 = Design specific gravity from orifice plate data sheet.			
PSIA = 14.7 + Gauge Reading			
$Q2 = Q1 \times \sqrt{\frac{DP2 (IWC) \times P2 (PSIA) \times T1 (F) + 460 \times SP. GR. 1}{DP1 (IWC) \times P1 (PSIA) \times T2 (F) + 460 \times SP. GR. 2}}$			
USE TO FIND FLOW BASED ON KNOWN DP, TEMPERATURE, PRESSURE AND SPECIFIC GRAVITY			
Orifice Plate Design Parameters		Process Variable Inputs	
Design Flow In SCFH	2200		
Design Differential Pressure In IWC	25	Measured Differential Pressure In IWC	4,54
Design Pressure In PSIA	19,6959	Measured Pressure In PSIA	15,68
Design Temperature In Fahrenheit	80	Measured Temperature In Fahrenheit	73,4
Design Specific Gravity	0,6	Measured Specific Gravity	0,6
Calculated Gas Flow (SCFH)	842	Entrada de Datos Operador de Horno	
Air Combustion Flow (SCFH)	10098	Temperatura del Fisher and Porter en °C	23 °C
RATIO	12,00	Presión línea quemadores	1,08 Psig.
		Lectura Magnehelic Placa orificio	4,54 WC

Figura 33: Hoja de cálculo (flujo de gas Ratio 12)

ORIFICE PLATE FLOW CALCULATION			
Q2 = Unknown Flow			
Q1 = Design flow from orifice plate data sheet			
DP2 = Measured differential pressure			
DP1 = Design differential pressure from orifice plate data sheet			
P2 = Measured line pressure immediately upstream of orifice plate			
P1 = Design normal pressure from orifice plate data sheet			
T2 = Measured gas temperature			
T1 = Design temperature of gas from orifice plate data sheet			
SP. GR. 2 = Specific gravity of gas used			
SP. GR. 1 = Design specific gravity from orifice plate data sheet.			
PSIA = 14.7 + Gauge Reading			
$Q2 = Q1 \times \sqrt{\frac{DP2 (IWC) \times P2 (PSIA) \times T1 (F) + 460 \times SP. GR. 1}{DP1 (IWC) \times P1 (PSIA) \times T2 (F) + 460 \times SP. GR. 2}}$			
USE TO FIND FLOW BASED ON KNOWN DP, TEMPERATURE, PRESSURE AND SPECIFIC GRAVITY			
Orifice Plate Design Parameters		Process Variable Inputs	
Design Flow In SCFH	2200		
Design Differential Pressure In IWC	25	Measured Differential Pressure In IWC	3,87
Design Pressure In PSIA	19,6959	Measured Pressure In PSIA	15,68
Design Temperature In Fahrenheit	80	Measured Temperature In Fahrenheit	73,4
Design Specific Gravity	0,6	Measured Specific Gravity	0,6
Calculated Gas Flow (SCFH)	777	Entrada de Datos Operador de Horno	
Air Combustion Flow (SCFH)	10098	Temperatura del Fisher and Porter en °C	23 °C
RATIO	13,00	Presión línea quemadores	1,08 Psig.
		Lectura Magnehelic Placa orificio	3,87 WC

Figura 34: Hoja de cálculo (flujo de gas Ratio 13)

ORIFICE PLATE FLOW CALCULATION			
Q2 = Unknown Flow			
Q1 = Design flow from orifice plate data sheet			
DP2 = Measured differential pressure			
DP1 = Design differential pressure from orifice plate data sheet			
P2 = Measured line pressure immediately upstream of orifice plate			
P1 = Design normal pressure from orifice plate data sheet			
T2 = Measured gas temperature			
T1 = Design temperature of gas from orifice plate data sheet			
SP. GR. 2 = Specific gravity of gas used			
SP. GR. 1 = Design specific gravity from orifice plate data sheet.			
PSIA = 14.7 + Gauge Reading			
$Q2 = Q1 \times \sqrt{\frac{DP2 (IWC) \times P2 (PSIA) \times T1 (F) + 460 \times SP. GR. 1}{DP1 (IWC) \times P1 (PSIA) \times T2 (F) + 460 \times SP. GR. 2}}$			
USE TO FIND FLOW BASED ON KNOWN DP, TEMPERATURE, PRESSURE AND SPECIFIC GRAVITY			
Orifice Plate Design Parameters		Process Variable Inputs	
Design Flow In SCFH	2200	Measured Differential Pressure In IWC	3,33
Design Differential Pressure In IWC	25	Measured Pressure In PSIA	15,68
Design Pressure In PSIA	19,6959	Measured Temperature In Fahrenheit	73,4
Design Temperature In Fahrenheit	80	Measured Specific Gravity	0,6
Design Specific Gravity	0,6		
Calculated Gas Flow (SCFH)	721	Entrada de Datos Operador de Horno	
Air Combustion Flow (SCFH)	10098	Temperatura del Fisher and Porter en °C	23 °C
RATIO	14,01	Presión línea quemadores	1,08 Psig.
		Lectura Magnehelic Placa orificio	3,33 WC

Figura 38: Hoja de cálculo (flujo de gas ratio 14)

ORIFICE PLATE FLOW CALCULATION			
SQUARE ROOT FLOW CALCULATION			
$Q2 = Q1 \times \sqrt{\frac{DP2 (IWC) \times P2 (PSIA) \times T1 (F) + 460 \times SP. GR. 1}{DP1 (IWC) \times P1 (PSIA) \times T2 (F) + 460 \times SP. GR. 2}}$			
Q2 = Unknown Flow			
Q1 = Design flow from orifice plate data sheet			
DP2 = Measured differential pressure			
DP1 = Design differential pressure from orifice plate data sheet			
P2 = Measured line pressure immediately upstream of orifice plate			
P1 = Design normal pressure from orifice plate data sheet			
T2 = Measured gas temperature			
T1 = Design temperature of gas from orifice plate data sheet			
SP. GR. 2 = Specific gravity of gas used			
SP. GR. 1 = Design specific gravity from orifice plate data sheet.			
PSIA = 14.7 + Gauge Reading			
USE TO FIND FLOW BASED ON KNOWN DP, TEMPERATURE, PRESSURE AND			
Orifice Plate Design Parameters		Process Variable Inputs	
Design Flow In SCFH	19039	Measured Differential Pressure In IWC	2
Design Differential Pressure In IWC	10	Measured Pressure In PSIA	14,73974
Design Pressure In PSIA	11,3177	Measured Temperature In Fahrenheit	77
Design Temperature In Fahrenheit	120	Measured Specific Gravity	0,6
Design Specific Gravity	0,6		
Calculated Flow	10098	Entrada de Datos Operador de Horno	
		Temperatura del Fisher and Porter en °C	25 °C
		Presión línea quemadores	0,03974 Psig.
		Lectura Magnehelic Placa orificio	2 WC

Figura 39: Hoja cálculo (Aire de combustión)

ANEXO M: REGISTRO VARIABLES OPERACIONALES RATIO 12,13,14

RATIO 12													
FECHA	HORA	PULL	C1	C2	C3	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	% GAS	
15/09/09	6:00	50,3	1367	1458	1476	1302	1460	1493	1487	2	1422	P1	26,1
15/09/09	8:00		1370	1462	1480	1307	1460	1495	1489	2	1422		
15/09/09	10:00		1371	1461	1478	1309	1462	1493	1488	2	1423		
15/09/09	12:00		1370	1459	1475	1310	1464	1490	1488	3	1420	P2	56
15/09/09	14:00		1370	1458	1475	1311	1462	1493	1486	2	1420		
15/09/09	16:00		1368	1455	1471	1312	1458	1490	1484	2	1421		
15/09/09	18:00		1364	1454	1468	1311	1458	1491	1482	2	1420	P3	18
15/09/09	20:00		1364	1454	1468	1311	1459	1489	1483	2	1420		
15/09/09	22:00		1363	1451	1469	1310	1458	1487	1482	3	1419		
15/09/09	0:00		1365	1452	1470	1311	1459	1485	1482	3	1419	P1	26
15/09/09	02:00		1365	1452	1468	1312	1459	1486	1481	2	1416		
15/09/09	04:00		1364	1452	1468	1312	1459	1484	1481	2	1415		
16/09/09	6:00	50,8	1363	1451	1468	1312	1450	1482	1478	5	1413	P1	26
16/09/09	8:00		1361	1450	1467	1312	1449	1480	1479	4	1410		
16/09/09	10:00		1362	1451	1467	1310	1450	1483	1478	3	1410		
16/09/09	12:00		1361	1449	1467	1310	1450	1485	1478	3	1411	P2	56
16/09/09	14:00		1362	1452	1469	1307	1451	1486	1480	4	1411		
16/09/09	16:00		1362	1451	1468	1308	1451	1485	1479	3	1412		
16/09/09	18:00		1362	1451	1468	1308	1450	1485	1478	2	1410	P3	18
16/09/09	20:00		1361	1450	1465	1308	1448	1484	1476	2	1410		
16/09/09	22:00		1359	1448	1464	1308	1449	1483	1476	3	1409		
16/09/09	0:00		1357	1447	1463	1308	1448	1483	1474	4	1409	P1	26
16/09/09	02:00		1358	1449	1465	1306	1449	1482	1475	3	1407		
16/09/09	04:00		1357	1448	1463	1306	1449	1483	1475	5	1405		
17/09/09	6:00	50	1357	1447	1464	1306	1450	1483	1475	3	1405	P1	26
17/09/09	8:00		1356	1447	1464	1305	1449	1482	1476	3	1405		
17/09/09	10:00		1357	1449	1466	1304	1450	1483	1476	4	1403		
17/09/09	12:00		1357	1448	1465	1303	1452	1482	1475	3	1404	P2	56
17/09/09	14:00		1355	1449	1466	1302	1452	1482	1476	4	1404		
17/09/09	16:00		1358	1450	1466	1299	1453	1484	1475	3	1403		
17/09/09	18:00		1361	1450	1467	1302	1455	1484	1475	3	1404	P3	18
17/09/09	20:00		1356	1450	1465	1304	1454	1483	1473	3	1403		
17/09/09	22:00		1358	1448	1464	1305	1454	1482	1473	4	1403		
17/09/09	0:00		1357	1447	1461	1305	1454	1483	1475	4	1402	P1	26
17/09/09	02:00		1358	1448	1464	1304	1455	1484	1474	3	1402		
17/09/09	04:00		1358	1448	1463	1304	1455	1484	1474	3	1402		

Tabla 5: Variables Operacionales Ratio 12

RATIO 13													
FECHA	HORA	PULL	C1	C2	C3	BTM LK	P1	P2	P3	SEM	CEW	% GAS	
09/09/09	6:00	77,7	1373	1469	1489	1302	1471	1504	1501	7	1434	P 1	24
09/09/09	8:00		1374	1472	1494	1304	1472	1505	1502	7	1434		
09/09/09	10:00		1374	1473	1494	1303	1472	1506	1502	8	1436		
09/09/09	12:00		1376	1476	1498	1299	1475	1506	1503	4	1436		
09/09/09	14:00		1377	1476	1497	1297	1475	1508	1502	6	1435	P 2	57
09/09/09	16:00		1377	1476	1498	1294	1478	1508	1504	8	1436		
09/09/09	18:00		1380	1481	1503	1294	1480	1512	1505	8	1436		
09/09/09	20:00		1380	1480	1502	1294	1480	1511	1504	8	1435		
09/09/09	22:00		1381	1480	1503	1299	1479	1510	1505	7	1435	P 3	19
09/09/09	0:00		1383	1481	1505	1300	1479	1510	1506	8	1436		
09/09/09	02:00		1382	1480	1500	1300	1481	1509	1504	8	1436		
09/09/09	04:00		1381	1479	1502	1301	1481	1508	1503	8	1434		
10/09/09	6:00	73,9	1381	1478	1501	1300	1479	1507	1501	6	1435	P 1	25
10/09/09	8:00		1379	1477	1498	1298	1477	1507	1502	7	1433		
10/09/09	10:00		1379	1478	1497	1295	1477	1508	1502	7	1435		
10/09/09	12:00		1380	1480	1500	1298	1478	1509	1503	9	1433		
10/09/09	14:00		1381	1482	1503	1300	1479	1510	1503	10	1433	P 2	57
10/09/09	16:00		1381	1479	1497	1299	1479	1508	1505	11	1432		
10/09/09	18:00		1380	1481	1501	1297	1476	1510	1504	10	1434		
10/09/09	20:00		1380	1480	1501	1298	1476	1515	1505	7	1435		
10/09/09	22:00		1384	1480	1501	1300	1475	1523	1505	8	1434	P 3	19
10/09/09	0:00		1381	1477	1497	1308	1478	1509	1505	7	1435		
10/09/09	02:00		1380	1476	1495	1308	1478	1509	1503	10	1435		
10/09/09	04:00		1378	1475	1493	1308	1475	1508	1503	6	1433		
11/09/09	6:00	73,2	1377	1476	1497	1304	1473	1506	1499	5	1434	P 1	26
11/09/09	8:00		1376	1473	1493	1300	1471	1504	1498	5	1435		
11/09/09	10:00		1376	1474	1492	1300	1471	1505	1498	5	1434		
11/09/09	12:00		1375	1472	1491	1300	1472	1506	1497	5	1432		
11/09/09	14:00		1375	1472	1492	1300	1472	1509	1499	6	1430	P 2	56
11/09/09	16:00		1375	1471	1491	1300	1475	1507	1498	6	1428		
11/09/09	18:00		1377	1472	1493	1301	1476	1509	1500	5	1431		
11/09/09	20:00		1377	1472	1493	1304	1477	1509	1500	4	1435		
11/09/09	22:00		1375	1469	1491	1301	1479	1507	1501	4	1438	P 3	18
11/09/09	0:00		1376	1472	1493	1305	1481	1510	1503	4	1440		
11/09/09	02:00		1375	1470	1491	1300	1480	1509	1504	4	1438		
11/09/09	04:00		1376	1471	1493	1301	1481	1510	1505	3	1438		

Tabla 6: Variables Operacionales Ratio 13

RATIO 13													
FECHA	HORA	PULL	C1	C2	C3	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	% GAS	
18/09/09	6:00	53,3	1358	1448	1465	1304	1450	1482	1474	6	1007	P1	26
18/09/09	8:00		1358	1449	1466	1304	1451	1482	1474	5	1407		
18/09/09	10:00		1359	1450	1467	1304	1451	1483	1475	6	1406		
18/09/09	12:00		1359	1452	1468	1303	1452	1485	1476	6	1407		
18/09/09	14:00		1361	1452	1469	1301	1452	1486	1476	7	1408	P2	56
18/09/09	16:00		1362	1454	1467	1303	1451	1484	1475	6	1408		
18/09/09	18:00		1363	1454	1471	1304	1452	1484	1476	5	1407		
18/09/09	20:00		1364	1454	1470	1305	1452	1483	1475	5	1407	P3	18
18/09/09	22:00		1363	1452	1469	1308	1451	1483	1475	5	1408		
18/09/09	0:00		1362	1451	1467	1308	1451	1482	1475	4	1407		
18/09/09	02:00		1357	1447	1462	1307	1454	1481	1474	4	1408		
18/09/09	04:00		1357	1448	1464	1306	1453	1482	1475	4	1406	49,9	P1
19/09/09	6:00	1357	1448	1464	1305	1448	1481	1474	3	1406			
19/09/09	8:00	1358	1449	1465	1305	1450	1482	1474	3	1405			
19/09/09	10:00	1360	1451	1466	1305	1450	1483	1475	4	1405			
19/09/09	12:00	1361	1452	1467	1306	1451	1482	1475	3	1403	P2		56
19/09/09	14:00	1362	1455	1466	1307	1452	1482	1474	4	1403			
19/09/09	16:00	1362	1451	1466	1309	1452	1481	1474	5	1400			
19/09/09	18:00	1361	1450	1465	1309	1450	1480	1470	3	1405	P3		18
19/09/09	20:00	1359	1447	1462	1309	1449	1481	1470	3	1408			
19/09/09	22:00	1353	1443	1459	1302	1450	1482	1470	4	1407			
19/09/09	0:00	1353	1445	1461	1300	1451	1483	1471	3	1406			
19/09/09	02:00	1357	1448	1462	1302	1452	1483	1470	3	1406	51,4		P1
19/09/09	04:00	1357	1448	1462	1302	1453	1483	1472	3	1405			
20/09/09	6:00	1352	1444	1459	1302	1444	1483	1472	4	1404			
20/09/09	8:00	1355	1446	1458	1301	1446	1484	1471	4	1404			
20/09/09	10:00	1359	1448	1462	1306	1446	1481	1472	3	1407		P2	56
20/09/09	12:00	1356	1446	1461	1307	1447	1481	1471	3	1409			
20/09/09	14:00	1354	1446	1463	1305	1445	1481	1473	5	1410			
20/09/09	16:00	1355	1446	1460	1300	1446	1482	1473	5	1415		P3	18
20/09/09	18:00	1355	1446	1462	1300	1447	1482	1472	4	1417			
20/09/09	20:00	1356	1446	1461	1301	1448	1481	1472	5	1417			
20/09/09	22:00	1355	1445	1461	1302	1447	1482	1471	4	1416			
20/09/09	0:00	1354	1445	1458	1306	1449	1482	1472	5	1418		P3	18
20/09/09	02:00	1348	1441	1455	1302	1447	1480	1472	5	1417			
20/09/09	04:00	1350	1442	1459	1301	1448	1481	1473	4	1417			

Tabla 7: Variables Operacionales Ratio 13

RATIO 14													
FECHA	HORA	PULL	C1	C2	C3	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	%GAS	
12/09/09	6:00	71,5	1376	1472	1492	1302	1469	1509	1485	4	1424	P1	26
12/09/09	8:00		1371	1466	1489	1299	1466	1510	1483	4	1424		
12/09/09	10:00		1370	1465	1482	1299	1466	1509	1484	4	1422		
12/09/09	12:00		1372	1468	1496	1294	1468	1508	1489	4	1428		
12/09/09	14:00		1373	1469	1494	1293	1471	1507	1490	5	1430	P2	56
12/09/09	16:00		1377	1472	1494	1291	1474	1507	1492	5	1438		
12/09/09	18:00		1378	1472	1493	1294	1476	1509	1502	5	1437		
12/09/09	20:00		1378	1472	1496	1302	1477	1510	1500	5	1437		
12/09/09	22:00		1376	1473	1497	1303	1476	1508	1500	3	1436	P3	18
12/09/09	0:00		1376	1472	1499	1304	1477	1508	1498	3	1437		
12/09/09	02:00		1376	1471	1497	1304	1477	1507	1495	4	1436		
12/09/09	04:00		1376	1471	1495	1303	1476	1507	1490	3	1436		
13/09/09	6:00	52,1	1373	1468	1493	1303	1474	1507	1491	3	1436	P1	26
13/09/09	8:00		1373	1468	1491	1301	1469	1508	1489	2	1435		
13/09/09	10:00		1368	1458	1477	1303	1465	1501	1488	2	1431		
13/09/09	12:00		1367	1456	1475	1304	1463	1495	1487	2	1429		
13/09/09	14:00		1365	1453	1470	1307	1462	1493	1488	2	1428	P2	56
13/09/09	16:00		1364	1452	1473	1307	1462	1492	1487	2	1428		
13/09/09	18:00		1361	1450	1467	1307	1463	1495	1486	1	1426		
13/09/09	20:00		1362	1451	1472	1307	1462	1494	1486	1	1427		
13/09/09	22:00		1362	1451	1472	1307	1462	1494	1485	1	1425	P3	18
13/09/09	0:00		1361	1451	1471	1308	1462	1496	1485	1	1427		
13/09/09	02:00		1360	1450	1471	1308	1463	1496	1486	3	1431		
13/09/09	04:00		1360	1450	1470	1308	1463	1497	1485	2	1434		
14/09/09	6:00	55,2	1358	1448	1468	1306	1464	1497	1480	2	1436	P1	26
14/09/09	8:00		1357	1447	1468	1305	1465	1498	1488	1	1437		
14/09/09	10:00		1360	1455	1476	1303	1466	1496	1389	2	1436		
14/09/09	12:00		1369	1462	1485	1304	1465	1496	1481	2	1435		
14/09/09	14:00		1356	1449	1472	1303	1465	1495	1480	2	1436	P2	56
14/09/09	16:00		1357	1450	1475	1294	1464	1493	1482	2	1435		
14/09/09	18:00		1361	1455	1477	1293	1464	1492	1483	3	1435		
14/09/09	20:00		1363	1456	1474	1297	1463	1493	1485	2	1434		
14/09/09	22:00		1367	1459	1477	1303	1464	1494	1486	3	1436	P3	18
14/09/09	0:00		1366	1458	1475	1305	1462	1492	1484	2	1435		
14/09/09	02:00		1366	1460	1480	134	1462	1493	1483	2	1434		
14/09/09	04:00		1367	1458	1475	1302	1462	1493	1480	2	1434		

Tabla 8: Variables Operacionales Ratio 14

RATIO 14													
FECHA	HORA	PULL	C1	C2	C3	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	% GAS	
21/09/09	6:00	57	1351	1443	1458	1301	1451	1483	1473	5	1419	P1	26,1
21/09/09	8:00		1352	1443	1461	1302	1451	1485	1475	5	1419		
21/09/09	10:00		1354	1444	1460	1305	1454	1489	1474	4	1420		
21/09/09	12:00		1366	1458	1479	1307	1458	1494	1484	4	1419		
21/09/09	14:00		1365	1457	1476	1311	1447	1492	1480	4	1418	P2	56
21/09/09	16:00		1364	1458	1475	1310	1461	1491	1480	4	1418		
21/09/09	18:00		1365	1459	1477	1306	1465	1493	1481	4	1419		
21/09/09	20:00		1367	1459	1476	1306	1462	1494	1480	3	1420		
21/09/09	22:00		1368	1459	1475	1306	1462	1493	1482	4	1419	P3	18
21/09/09	0:00		1369	1460	1476	1309	1461	1496	1482	4	1415		
21/09/09	02:00		1367	1457	1474	1311	1460	1495	1488	5	1415		
21/09/09	04:00		1366	1457	1474	1311	1460	1490	1488	5	1416		
22/09/09	6:00	53,2	1365	1457	1473	1310	1458	1490	1485	4	1415	P1	26,1
22/09/09	8:00		1365	1457	1475	1310	1458	1484	1487	4	1415		
22/09/09	10:00		1365	1459	1475	1310	1457	1487	1488	4	1416		
22/09/09	12:00		1368	1460	1474	1309	1456	1488	1487	5	1416		
22/09/09	14:00		1370	1462	1475	1311	1457	1490	1485	4	1417	P2	56
22/09/09	16:00		1371	1462	1474	1312	1457	1489	1487	4	1415		
22/09/09	18:00		1371	1460	1473	1313	1455	1489	1488	6	1415		
22/09/09	20:00		1370	1460	1473	1314	1456	1488	1488	6	1414		
22/09/09	22:00		1368	1459	1475	1314	1454	1488	1489	5	1414	P3	18
22/09/09	0:00		1365	1455	1470	1310	1454	1489	1485	5	1413		
22/09/09	02:00		1365	1455	1469	1309	1457	1494	1485	5	1413		
22/09/09	04:00		1365	1455	1468	1310	1459	1493	1483	4	1415		
23/09/09	6:00	57,2	1364	1457	1471	1311	1459	1493	1485	4	1414	P1	26
23/09/09	8:00		1368	1458	1478	1310	1461	1493	1489	4	1415		
23/09/09	10:00		1367	1459	1472	1311	1461	1492	1486	4	1415		
23/09/09	12:00		1370	1462	1475	1310	1463	1497	1488	5	1417		
23/09/09	14:00		1372	1462	1477	1310	1462	1497	1488	4	1416	P2	55,9
23/09/09	16:00		1373	1463	1477	1311	1463	1495	1486	5	1418		
23/09/09	18:00		1374	1463	1477	1312	1463	1496	1487	4	1418		
23/09/09	20:00		1372	1461	1476	1314	1461	1495	1486	7	1419		
23/09/09	22:00		1372	1462	1475	1313	1461	1495	1485	5	1419	P3	18,1
23/09/09	0:00		1371	1462	1476	1311	1460	1495	1486	5	1420		
23/09/09	02:00		1372	1461	1475	1309	1460	1493	1488	5	1419		
23/09/09	04:00		1372	1462	1476	1311	1460	1494	1489	5	1419		

Tabla 9: Variable Operacionales Ratio 14

ANEXO N: ANÁLISIS REGISTROS

Haciendo un análisis general de los datos obtenidos en operación con los diferentes ratios fue necesario realizarles una transformación para obtener un comportamiento normal de los mismos, siendo la más adecuada 1/Y

RATIO	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	PULL	MJ/TON	\$US/TON
13	1299,0	1477	1508	1503	7	1435,25	77,7	8598,8	38,5
13	1300,8	1477,25	1510,25	1503,42	8	1433,92	73,9	8248,0	37,0
13	1301,3	1475,67	1507,58	1500,17	5	1434,42	73,2	8170,7	36,6
14	1299,0	1473	1508	1492	4	1432,08	71,5	8397,2	37,6
14	1305,8	1464,17	1497,33	1486,92	2	1429,75	52,1	7754,4	34,8
14	1204,1	1463,83	1494,33	1475,08	2	1435,25	55,2	11668,2	52,3
12	1310,0	1460	1490	1484	2	1419,75	50,3	12074,0	54,1
12	1308,6	1449,5	1483,42	1477,16	3	1409,75	50,8	11857,3	53,1
12	1303,6	1452,75	1483	1474,75	3	1403,33	50	25380,4	113,7
13	1305,0	1452	1483	1475	5	1373,83	53,3	11358,5	50,9
13	1305,1	1450,67	1481,92	1472,42	3	1404,92	49,9	7505,4	33,6
13	1302,8	1446,67	1481,67	1472	4	1412,58	51,4	11334,9	50,8
14	1307,0	1458	1491	1481	4	1418,08	57	9656,0	43,3
14	1311,0	1456,5	1489,08	1486,42	5	1414,83	53,2	8907,6	39,9
14	1311,1	1461,17	1494,58	1486,92	5	1417,42	57,2	8925,7	40,0

Tabla 10: Variables Promedio (Ratio 12, 13, 14)

RATIO	BTMLK	P1	P2	P3	SEM	CEW	PULL	MJ/TON	\$US/TON
0,0769	0,000770	0,00068	0,00066	0,00067	0,14	0,0007	0,013	0,000116	0,025949
0,0769	0,000769	0,00068	0,00066	0,00067	0,13	0,0007	0,014	0,000121	0,027052
0,0769	0,000768	0,00068	0,00066	0,00067	0,2	0,0007	0,014	0,000122	0,027308
0,0714	0,000770	0,00068	0,00066	0,00067	0,25	0,0007	0,014	0,000119	0,026572
0,0714	0,000766	0,00068	0,00067	0,00067	0,5	0,0007	0,019	0,000129	0,028774
0,0714	0,000831	0,00068	0,00067	0,00068	0,5	0,0007	0,018	0,000086	0,019123
0,0833	0,000763	0,00068	0,00067	0,00067	0,5	0,0007	0,02	0,000083	0,018480
0,0833	0,000764	0,00069	0,00067	0,00068	0,33	0,00071	0,02	0,000084	0,018818
0,0833	0,000767	0,00069	0,00067	0,00068	0,33	0,00071	0,02	0,000039	0,008791
0,0769	0,000766	0,00069	0,00067	0,00068	0,2	0,00073	0,019	0,000088	0,019644
0,0769	0,000766	0,00069	0,00067	0,00068	0,33	0,00071	0,02	0,000133	0,029729
0,0769	0,000768	0,00069	0,00067	0,00068	0,25	0,00071	0,019	0,000088	0,019685
0,0714	0,000765	0,00069	0,00067	0,00068	0,25	0,00071	0,018	0,000104	0,023108
0,0714	0,000763	0,00069	0,00067	0,00067	0,2	0,00071	0,019	0,000112	0,025049
0,0714	0,000763	0,00068	0,00067	0,00067	0,2	0,00071	0,017	0,000112	0,024998

Tabla 11: Variables Operacionales Promedio Transformadas (Ratio 12, 13, 14)

Resumen Estadístico

	<i>BTMLK</i>	<i>CEW</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>PULL</i>
Recuento	15	15	15	15	15	15
Promedio	0,000770567	0,000705127	0,000684387	0,000669573	0,00067358	0,0175337
Desviación Estándar	0,0000167456	0,00000842314	0,00000486487	0,0000047113	0,00000492243	0,00264228
Coefficiente de Variación	2,17315%	1,19456%	0,710836%	0,703628%	0,730786%	15,0698%
Mínimo	0,0007627	0,0006967	0,0006769	0,0006621	0,0006652	0,01287
Máximo	0,0008305	0,0007279	0,0006912	0,0006749	0,0006793	0,0200401
Rango	0,0000678	0,0000312	0,0000143	0,0000128	0,0000141	0,0071701
Sesgo Estandarizado	5,91619	2,16802	-0,60495	-0,748247	-0,950065	-1,40485
Curtosis Estandarizada	11,291	2,11991	-0,916659	-1,00821	-0,686538	-0,721276

Tabla 12: Resumen Estadístico

	<i>RATIO</i>	<i>SEM</i>	<i>MJITON</i>	<i>\$TON</i>
Recuento	15	15	15	15
Promedio	0,0760073	0,287857	0,0001025	0,0228719
Desviación Estándar	0,00456565	0,126474	0,0000245559	0,0054779
Coefficiente de Variación	6,00686%	43,9365%	23,9569%	23,9504%
Mínimo	0,0714286	0,125	0,0000394	0,0087913
Máximo	0,0833333	0,5	0,0001332	0,0297288
Rango	0,0119048	0,375	0,0000938	0,0209375
Sesgo Estandarizado	0,832795	1,20332	-1,8012	-1,8025
Curtosis Estandarizada	-0,723996	-0,440411	1,33755	1,3422

Intervalos de confianza del 95,0%

	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
BTMLK	0,000770567	0,00000432369	0,000761293	0,00077984
CEW	0,000705127	0,00000217484	0,000700462	0,000709791
P1	0,000684387	0,0000012561	0,000681693	0,000687081
P2	0,000669573	0,00000121645	0,000666964	0,000672182
P3	0,00067358	0,00000127097	0,000670854	0,000676306
PULL	0,0175337	0,000682235	0,0160704	0,0189969
RATIO	0,0760073	0,00117885	0,0734789	0,0785357
SEM	0,287857	0,0326555	0,217818	0,357896
MJITON	0,0001025	0,00000634029	0,0000889014	0,000116099
\$TON	0,0228719	0,00141439	0,0198383	0,0259055

Tabla 13: Intervalos de Confianza

	<i>Sigma</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
BTMLK	0,0000167456	0,0000122599	0,0000264094
CEW	0,00000842314	0,0000061668	0,0000132841
P1	0,00000486487	0,0000035617	0,00000767237
P2	0,0000047113	0,00000344927	0,00000743018
P3	0,00000492243	0,00000360384	0,00000776315
PULL	0,00264228	0,00193449	0,00416714
RATIO	0,00456565	0,00334264	0,00720048
SEM	0,126474	0,0925952	0,199462
MJITON	0,0000245559	0,000017978	0,000038727
\$TON	0,0054779	0,00401052	0,00863919

CORRELACIONES:

	BTMLK	CEW	P1	P2	P3	PULL	RATIO	SEM	MJITON	\$TON
BTMLK		-0,3203 (15)	-0,1499 (15)	-0,1003 (15)	0,1807 (15)	-0,0350 (15)	-0,2728 (15)	0,4122 (15)	-0,1639 (15)	-0,1640 (15)
		0,2445	0,5940	0,7221	0,5193	0,9014	0,3253	0,1268	0,5595	0,5593
CEW	-0,3203 (15)		0,7592 (15)	0,7796 (15)	0,6609 (15)	0,6056 (15)	0,3213 (15)	-0,0797 (15)	-0,4214 (15)	-0,4210 (15)
		0,2445	0,0010	0,0006	0,0073	0,0167	0,2429	0,7776	0,1177	0,1181
P1	-0,1499 (15)	0,7592 (15)		0,9873 (15)	0,9191 (15)	0,9055 (15)	0,2830 (15)	0,2774 (15)	-0,4928 (15)	-0,4926 (15)
		0,5940	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,3067	0,3168	0,0620	0,0621
P2	-0,1003 (15)	0,7796 (15)	0,9873 (15)		0,9268 (15)	0,9242 (15)	0,3360 (15)	0,3242 (15)	-0,5420 (15)	-0,5418 (15)
		0,7221	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,2208	0,2385	0,0369	0,0370
P3	0,1807 (15)	0,6609 (15)	0,9191 (15)	0,9268 (15)		0,8828 (15)	0,1749 (15)	0,4791 (15)	-0,5380 (15)	-0,5378 (15)
		0,5193	0,0073	0,0000	0,0000	0,0000	0,5329	0,0708	0,0386	0,0386
PULL	-0,0350 (15)	0,6056 (15)	0,9055 (15)	0,9242 (15)	0,8828 (15)		0,2670 (15)	0,6012 (15)	-0,4826 (15)	-0,4825 (15)
		0,9014	0,0167	0,0000	0,0000	0,0000		0,3360	0,0178	0,0684
RATIO	-0,2728 (15)	0,3213 (15)	0,2830 (15)	0,3360 (15)	0,1749 (15)	0,2670 (15)		0,1229 (15)	-0,5760 (15)	-0,5755 (15)
		0,3253	0,2429	0,3067	0,2208	0,5329	0,3360		0,6627	0,0246
SEM	0,4122 (15)	-0,0797 (15)	0,2774 (15)	0,3242 (15)	0,4791 (15)	0,6012 (15)	0,1229 (15)		-0,2706 (15)	-0,2709 (15)
		0,1268	0,7776	0,3168	0,2385	0,0708	0,0178	0,6627		0,3292
MJITON	-0,1639 (15)	-0,4214 (15)	-0,4928 (15)	-0,5420 (15)	-0,5380 (15)	-0,4826 (15)	-0,5760 (15)	-0,2706 (15)		1,0000 (15)
		0,5595	0,1177	0,0620	0,0369	0,0386	0,0684	0,0246	0,3292	0,0000
\$TON	-0,1640 (15)	-0,4210 (15)	-0,4926 (15)	-0,5418 (15)	-0,5378 (15)	-0,4825 (15)	-0,5755 (15)	-0,2709 (15)	1,0000 (15)	
		0,5593	0,1181	0,0621	0,0370	0,0386	0,0685	0,0248	0,3288	0,0000

Tabla 14: Correlaciones de Pearson

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95,0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0,05:

- CEW y P1
- CEW y P2
- CEW y P3
- CEW y PULL
- P1 y P2
- P1 y P3
- P1 y PULL
- P2 y P3
- P2 y PULL
- P2 y MJITON
- P2 y \$TON
- P3 y PULL
- P3 y MJITON
- P3 y \$TON
- PULL y SEM
- RATIO y MJITON
- RATIO y \$TON
- MJITON y \$TON

REGRESIONES MÚLTIPLES:

- **SEMILLAS COMO VARIABLE DEPENDIENTE:**

Variables independientes: BTMLK, CEW, MJ/TON, \$TON, P1, P2, P3, PULL, RATIO

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	17,4869	5,02829	3,4777	0,0177
\$TON	-4144,04	2488,66	-1,66517	0,1568
BTMLK	1194,9	1575,98	0,758196	0,4825
CEW	-905,612	3292,51	-0,275052	0,7943
MJITON	925803,	555655,	1,66615	0,1566
P1	-15701,4	22154,5	-0,708723	0,5102
P2	-43040,0	25572,8	-1,68304	0,1532
P3	28998,8	10187,3	2,84656	0,0360
PULL	80,5564	13,1366	6,13223	0,0017
RATIO	13,484	4,99345	2,70034	0,0428

Tabla 15: Regresión Múltiple Seeds

ANÁLISIS DE VARIANZA:

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,216163	9	0,0240182	15,44	0,0038
Residuo	0,00777706	5	0,00155541		
Total (Corr.)	0,22394	14			

Tabla 16: Análisis de Varianza Seeds

R-cuadrada = **96,5272** por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **90,2761** por ciento
Error estándar del est. = **0,0394387**
Error absoluto medio = **0,0181989**
Estadístico Durbin-Watson = **2,60452** (P=**0,6460**)
Autocorrelación de residuos en retraso 1 = **-0,380369**

Se realizó un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre SEEDS y 9 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$SEM = 17,4869 - 4144,04 STON + 1194,9 BTMLK - 905,612 CEW + 925803 \frac{MJ}{TON} - 15701,4 P1 - 43040,0 P2 + 28998,8 P3 + 80,5564 PULL + 13,484 RATIO$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 96,5272% de la variabilidad en SEM.

El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 90,2761%.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0394387.

El error absoluto medio (MAE) de 0,0181989 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

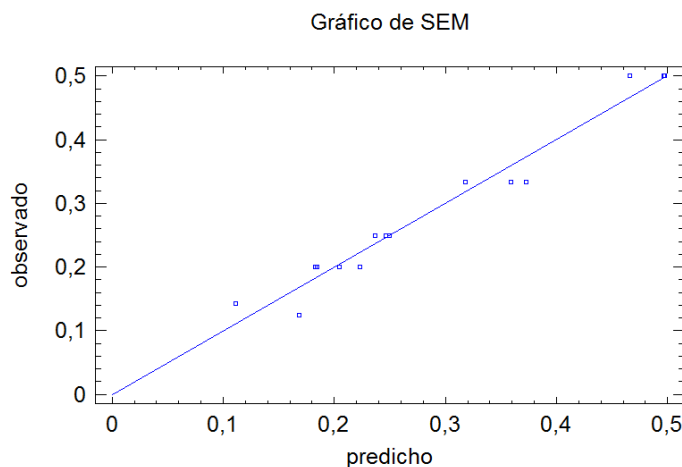


Figura 40: Regresión Seeds

- **ENERGÍA (MJ/Ton)**

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-0,000930041	0,00455105	-0,204358	0,8439
BTMLK	-0,498745	0,618466	-0,806422	0,4465
P1	3,08242	10,0163	0,307742	0,7672
P2	4,62128	12,8445	0,359787	0,7296
P3	-4,94381	6,76841	-0,730425	0,4888
PULL	-0,0114124	0,0162138	-0,703869	0,5042
SEM	0,000138815	0,000166711	0,83267	0,4325
RATIO	-0,00390497	0,00193437	-2,01873	0,0833

Tabla 17: Regresión Múltiple Energía

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	5,27379E-9	7	7,53398E-10	1,66	0,2587
Residuo	3,16807E-9	7	4,52582E-10		
Total (Corr.)	8,44186E-9	14			

Tabla 18: Análisis de Varianza Energía

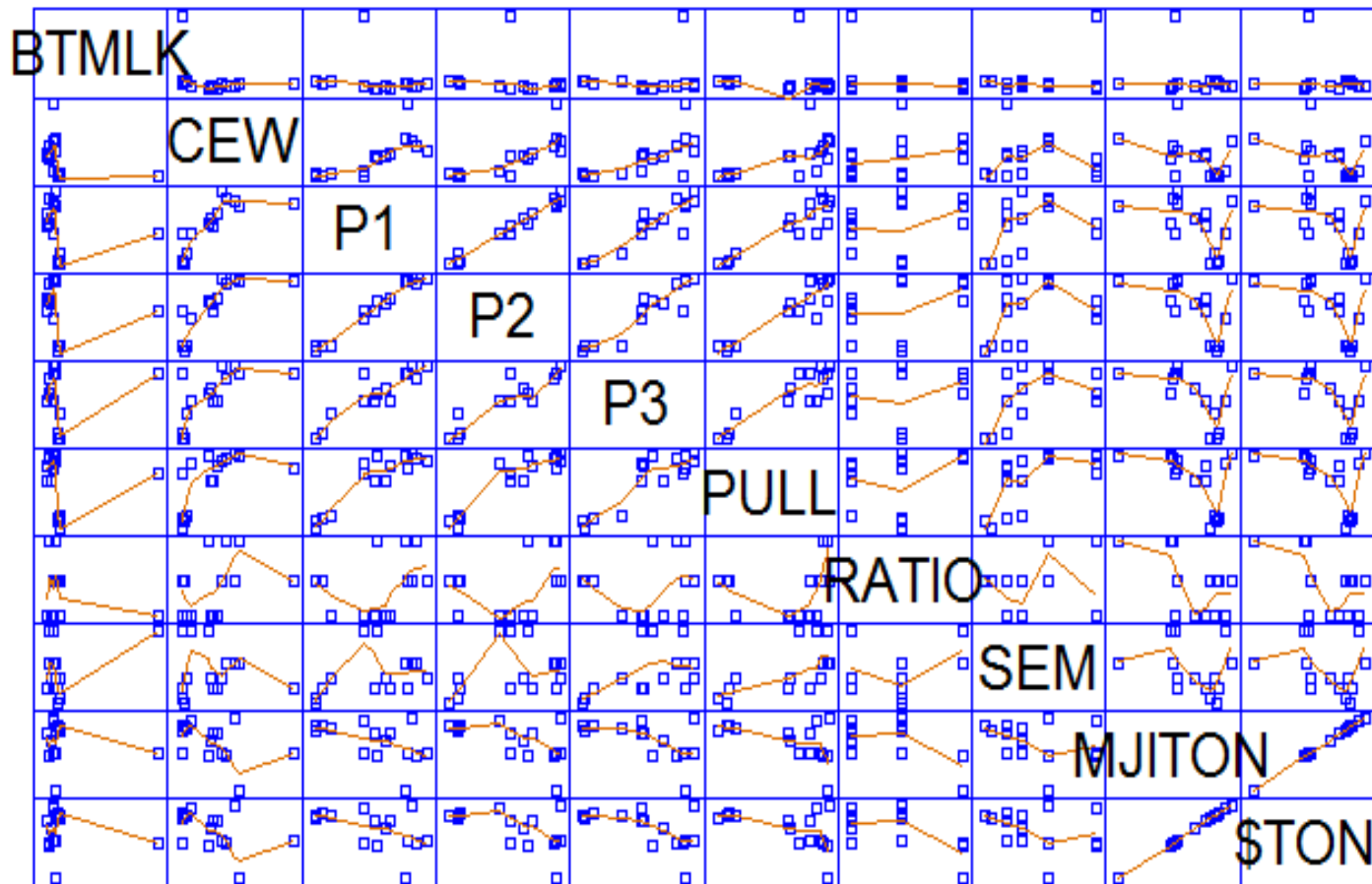
R-cuadrada = 62,4719 por ciento
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 24,9438 por ciento
 Error estándar del est. = 0,000021274
 Error absoluto medio = 0,00000930095
 Estadístico Durbin-Watson = 2,07125 (P=0,2344)
 Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,0409964

Se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre MJITON y 7 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{MJITON} = -0,000930041 - 0,498745 \cdot \text{BTMLK} + 3,08242 \cdot \text{P1} + 4,62128 \cdot \text{P2} - 4,94381 \cdot \text{P3} - 0,0114124 \cdot \text{PULL} + 0,000138815 \cdot \text{SEM} - 0,00390497 \cdot \text{RATIO}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

El modelo así ajustado explica 62,4719% de la variabilidad en MJITON. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 24,9438%.



Gráfica 41: Gráfico Multivariable

ANEXO O: CONTEOS DE SEMILLAS

Existe un procedimiento establecido por O-I para llevar control sobre los conteos de semillas en la producción:

- Delimitar un anillo de una pulgada de alto sobre la botella.
- Contar en número de semillas dentro del anillo. Esto se realiza bajo una luz intensa y dentro de una caja de fondo negro para detectarlas fácilmente.
- Cortar y pesar el anillo analizado.
- El conteo de semillas es el resultado de la división del número de semillas encontradas entre el peso del anillo.