



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Rediseño del sistema de salida
del tostador Probatone 60**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Angel Francisco Trejo Durán

ASESOR DE INFORME

Dr. Álvaro Ayala Ruiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



ÍNDICE

Agradecimientos	I
Nomenclatura	II
Capítulo uno – Introducción	1
1.1.- Objetivo	1
Capítulo dos – Descripción de la empresa	2
2.1.- Historia	2
2.2.- Misión	5
2.3.- Visión	5
2.4.- Política integral	6
2.5.- Organigrama	6
2.6.- Descripción del puesto de Especialista Técnico.....	8
Capítulo tres – Definición del problema	11
Capítulo cuatro – Desarrollo del caso de estudio	15
4.1.- Primer contacto	15
4.2.- Necesidad	17
4.3.- Diagnóstico	17



Capítulo cinco – Desarrollo	33
5.1.- Primera falla (encendido de la etapa 2)	43
5.2.- Segunda falla (encendido de la etapa 4)	46
5.3.- Resultados	66
Capítulo seis – Conclusiones	70
Bibliografía	71
Apéndice 1.- Especificaciones técnicas	72
- Datos de energía	
- Especificaciones de emisiones	
Apéndice 2.- Diagramas	76
- Diagrama de conexiones	
- Plano de instalación del post-quemador	
- Plano de instalación del tostador	
Apéndice 3.- Manuales técnicos	79
- Instrucciones de servicio quemador de post-combustión	
- Manual de aplicaciones en la industria del café	
- Manual de servicio tostadora de café Probatone 60	
- Manual del post-quemador	
- Probat pilot roaster	



Agradecimientos

A mi Dios le doy las gracias por siempre darme la serenidad para aceptar las cosas que no puedo cambiar, el valor para cambiar las cosas que puedo y la sabiduría para reconocer la diferencia. Por tomar mi mano y guiarme por el camino que tiene para mí y los míos.

A mi padre por apoyarme en mis momentos de necesidad, enseñarme el valor del trabajo y siempre confiar en mí pese a mis errores. Siempre te amare y te doy las gracias por todo.

A mi madre por tener una palabra de aliento en esos momentos difíciles para mi alma, el amarme incondicionalmente. Gracias, porque si soy una buena persona, es gracias a ti.

A mis hermanos porque siempre han creído en mí y porque en ustedes veo el ejemplo de esfuerzo, valor y tenacidad que se necesita para seguir adelante en la vida. Les doy las gracias por todo el apoyo que me han dado sin esperar nada a cambio y porque siempre estaremos juntos, aunque sea de lejos.

A Karolín, Diego y Emilio por mostrarme un amor diferente a todos, porque son encantadores y los amo a pesar de la distancia. Los extraño.

A mi esposa porque desde hace mucho tiempo me acompañas en el mismo camino, me ayudas a tener equilibrio, me enseñaste un tipo de amor especial y lo sigues reafirmando. Gracias por todos los buenos y malos momentos porque gracias a eso he llegado a este momento.

A Daniela y Angel porque son los más preciados que tengo. Por enseñarme a ser padre y comprender la forma en que mis padres me aman. Por ustedes me esfuerzo, los amo y siempre estaré para ustedes. Les doy las gracias porque al ver sus caras encuentro el lado dulce de la vida, fueron y seguirán siendo mi motivación para todo.

Mis logros son para ustedes.

A mi director de proyecto Dr. Álvaro AYALA, le agradecemos mi familia y yo por todo el tiempo que me ayudó en la culminación del proyecto, los conocimientos que me compartió, la paciencia y comprensión que me tuvo. Gracias por no dejarme abandonar el proyecto.



Nomenclatura

En esta sección se encuentran las definiciones de los símbolos o caracteres que utilice para nombrar valores numéricos que se encuentran a lo largo del proyecto.

A – Área : [m^2]

c – Velocidad del sonido en el medio de propagación : [m/seg]

C_p – Calor específico a presión constante : [$J/kg K$]

C_v – Calor específico a volumen constante : [$J/kg K$]

f – Factor de fricción : [Adimensional]

F – Fuerza : [N]

g – Gravedad : [m/seg^2]

h – Altura : [m]

h_f – Perdida de carga por fricción : [m]

L – Longitud : [m]

\dot{m} – Gasto másico : [kg/seg]

M – Número de Match : [Adimensional]

n – Peso molecular del aire : [kg/mol]

ϕ – Diámetro : [m]

P – Presión : [Pa] ó [mmH_2O] ó [$mBar$]

R – Constante del gas : [$J/mol K$]

\check{R} – Constante universal de los gases ideales : [$J/kg K$]

Re – Número de Reynolds : [Adimensional]

\check{v} – Gasto volumétrico : [m^3/seg]

v – Velocidad : [m/seg]



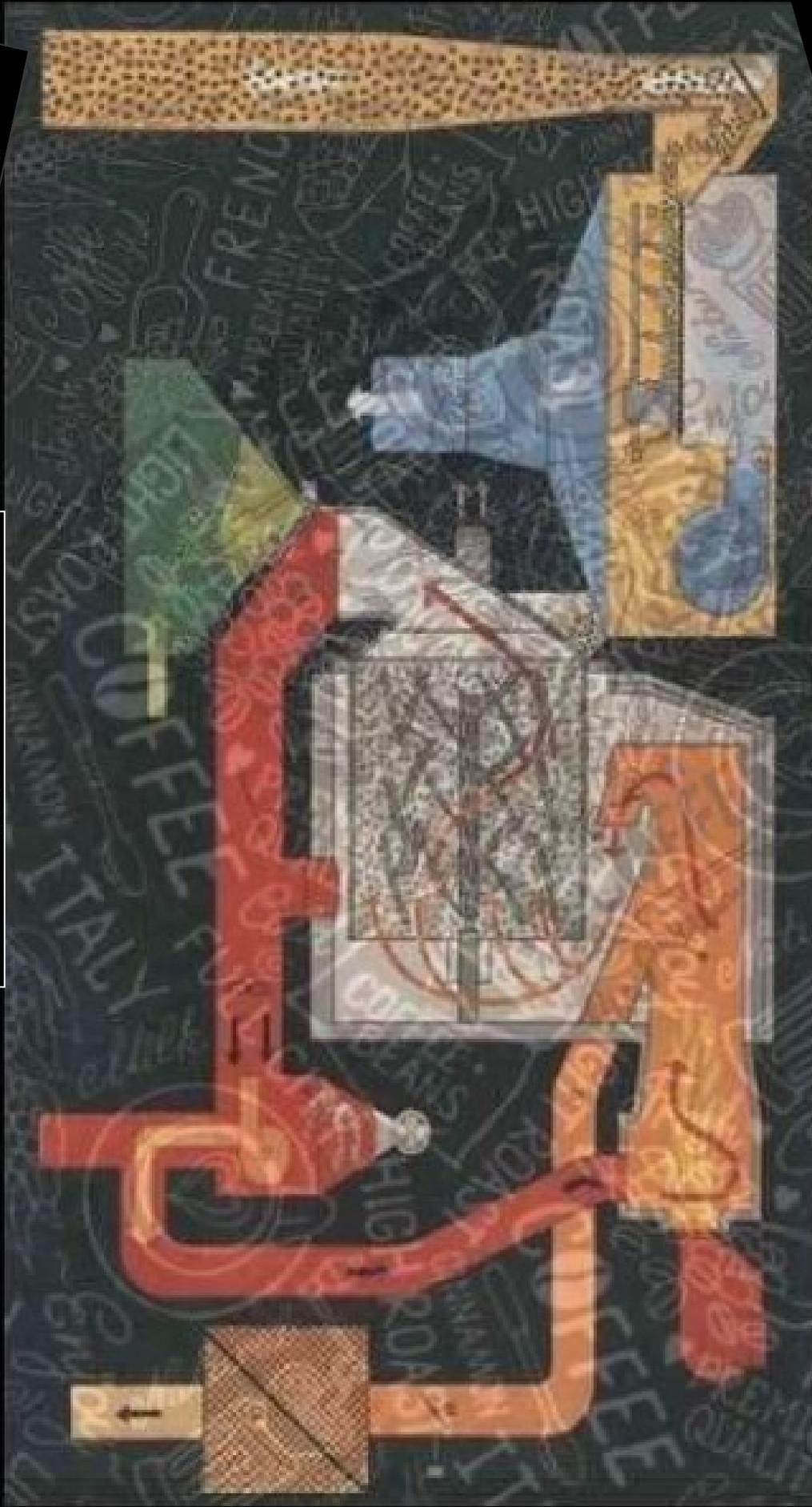
ν - Viscosidad cinemática : [m^2/seg]

Vol - Volumen : [m^3]

W - Peso : [N]

ρ - Densidad ; [kg/m^3]

γ - Coeficiente de dilatación adiabática : [Adimensional]



**WELCOME TO
THE ORIGINAL**



1 - Introducción

A mediados del año 2015, se instaló en el comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V una línea de tostado para café en verde de la compañía Probat.

La compañía Probat fundada en 1868 y con sede en Alemania, se dedicada a la fabricación de equipos e instrumentos especializados para el procesamiento de café en verde, sus equipos se pueden clasificar en tres áreas dependiendo de la capacidad de producción de estos:

- Laboratorio (Probatino) para capacidad de 100 [gr], 200 [gr], 400 [gr] y 1000 [gr]
- Shoproaster (Probatone) para capacidad de 5 [kg], 12 [kg], 25 [kg] y 60 [kg]
- Industrie (Neptune) para capacidad de 125 [kg], 250 [kg], 500 [kg] y 750 [kg]

El equipo Probat del que está compuesta la línea comenzó a presentar fallas de paro en el año 2016, en los años siguientes siguió presentando la misma falla, siempre en los primeros meses del año.

La necesidad de Restaurantes Toks S.A de C.V era solucionar el paro recurrente de su equipo, ya que esto implicaba: detener la producción, no cumplir con la calidad (parametrización) de su proceso de tueste de café, no satisfacer la demanda de productos realizados con café en sus restaurantes, no cumplir con la normatividad medioambiental y no saber el origen de la falla.

La empresa Maquinaria y Accesorios S.A de C.V al enterarse del proyecto, aceptó solucionar el problema de Restaurantes Toks S.A de C.V en el menor tiempo posible: este fue el requisito principal. Como parte de los servicios que ofrece MYASA y en específico el área de Servicios Técnicos de pan y café (SP), es la de brindar asesoría a empresas en sus necesidades de producción, compra de refacciones y servicios de mantenimiento.

Dentro de la empresa MYASA, me he desempeñado en el área de “Servicios Técnicos SP”, donde he tenido la oportunidad de realizar la instalación, puesta en marcha, capacitación y mantenimiento a los diferentes equipos industriales en beneficio del sector alimenticio enfocado al procesamiento de café y pan. En cada una de estas actividades he desempeñado y aplicado mis conocimientos de ingeniería mecánica adquiridos durante mi instrucción en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

En este trabajo se establecen las actividades realizadas en el proyecto para dar solución a las necesidades de la compañía Restaurantes Toks S.A de C.V, a fin de garantizar el óptimo funcionamiento de su línea de tostado de café en verde.

1.1 - Objetivo

Realizar un estudio de falla en todos los equipos de los que se compone la línea de producción **Probatone 60**, para el procesamiento de tostado de café en verde.



2 – Descripción de la empresa

2.1 Historia

En el año de 1946 el Ing. Teodoro NIEBERG, notó el crecimiento en México de la industria azucarera, por lo que fundó la empresa MYASA¹ para satisfacer las necesidades industriales de este sector con la importación de maquinaria fabricada en Alemania. A la muerte del Ing. Teodoro NIEBERG, su esposa toma el cargo de la empresa quien la vende en el año de 1969 a los socios actuales: Ernst KONRAD, Mirdza TURSS y Gerhard HOFFMANN quienes incursionaron en nuevos sectores de la industria en México, importando equipos especializados, refacciones, suministrando soluciones de mantenimiento y producción.

MYASA es una empresa mexicana, comercializadora de maquinaria y equipo industrial, que desde 1969 ha suministrado soluciones tecnológicas en diferentes áreas industriales como:

- Cementera
- Manufacturera
- Farmacéutica
- Automotriz
- Electrónica
- Minera
- Alimentos, entre otras.



Nuestro compromiso es ofrecer soluciones técnicas a las necesidades de nuestros clientes, proporcionando equipos y materiales de calidad.

Nuestra filosofía de trabajo siempre ha sido ofrecer tecnología de punta y atención personal, por lo que el prestigio de MYASA es ampliamente reconocido en la República Mexicana y América Latina.

La política y objetivos de gestión de la empresa, así como los documentos del S.G.I², están enfocados hacia el cliente con el propósito de incrementar la satisfacción del mismo.

La empresa MYASA está conformada por tres locaciones:

- Oficina central (Figura. 1)
Cincinnati #81 4^{to} piso
Colonia Noche Buena CP.03720 Ciudad de México

En esta ubicación se consolida el área de ventas, compras, logística, servicios técnicos, recursos humanos y gerencia, se cuenta con 37 personas realizando diferentes actividades para la correcta funcionalidad de la empresa y del sistema de gestión integral.

¹ Maquinaria y Accesorios S.A de C.V

² Sistema de Gestión Integral. (Normas: 9001 – calidad, 14001 – medioambiental, 18001 – seguridad del trabajo).

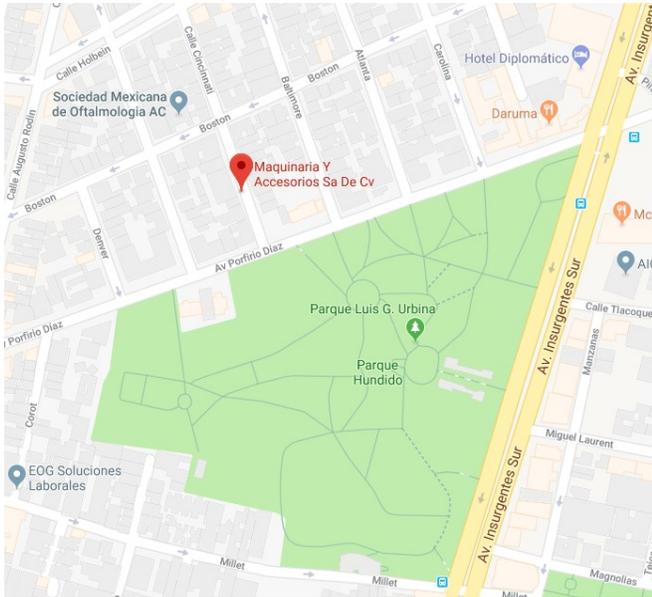


Figura. 1 – Mapa de ubicación de la oficina central

- Taller de servicios técnicos (Figura.2)
Calle 28 #75
Colonia Olivar del Conde CP.01400 Ciudad de México

En esta ubicación se encuentra la zona de reparación de pequeños equipos, componentes de los mismos, el desarrollo de nuevos sistemas y equipos de medición aplicables para la industria. Dos personas son las responsables de realizar las actividades de reparación en esta área.

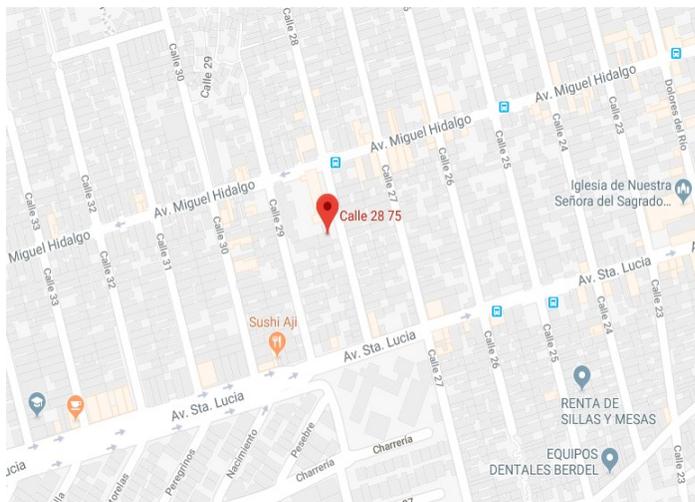


Figura. 2 – Mapa de ubicación del taller de servicios técnicos

- Almacén (Figura. 3)
Calle 29 #52
Colonia Olivar del Conde Cp.01400 Ciudad de México

En esta ubicación se tiene el almacenamiento de equipo de nueva adquisición, la empresa al ser una comercializadora adquiere equipo y productos nuevos periódicamente, para su distribución y venta en la República Mexicana y América Latina, se cuenta con 3 personas que realizan las actividades del almacén.

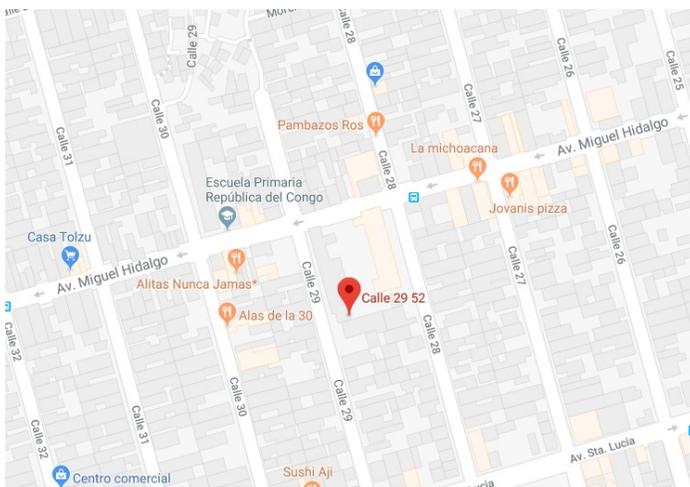


Figura. 3 – Mapa de ubicación del almacén

La empresa MYASA representa diferentes marcas a nivel internacional, entre las que se encuentran:

- Equipos y sistemas para la medición de concentraciones de gases y polvos en aplicaciones de control de procesos y emisiones a la atmósfera
 - Eco physics ag, Suiza
 - Hillesheim gmbh, Alemania
 - M&C products, Estados Unidos
 - Siemens, Ciudad de México
 - Em-technik, Alemania
 - Knf neuberger inc, Estados Unidos
- Línea completa para el ensayo de materiales, simulación de situaciones del medio ambiente y cámaras de clima
 - Weiss-umwelttechnik. Alemania
 - Envirotronics inc, Estados Unidos
 - Elpro, Suiza



- Equipos y abrasivos para la preparación de superficies y limpieza industrial
 - Ballotini panamericana, México
 - Washington mills ceramics, Estados Unidos
 - A&B deburring, Estados Unidos

- Máquinas y equipos para la industria dulcera, cafetera y requerimientos en el empaque
 - Fres-co system, Estados Unidos
 - Mazzetti renato, Italia
 - Probat, Alemania
 - Tme srl, Italia
 - König, Austria

- Maquinaria y equipos espaciales para la industria de sistemas modulares de tubería y componentes
 - Jacob tubing, Estados Unidos

- Maquinaria y equipos especiales para laboratorios farmacéuticos
 - Hupfer, Alemania
 - Elpro buchs, Suiza

- Maquinaria y equipos especiales para la industria del vacío
 - Vat vakuumventile, Suiza

2.2 Misión

Somos una empresa mexicana comercializadora de maquinaria, líder en el diseño e integración de equipos de medición para la industria, así como en la instalación, puesta en marcha, capacitación, mantenimiento preventivo y correctivo de una amplia gama de equipos y refacciones de reconocida calidad para satisfacer las exigencias de nuestros clientes, acompañada de una excelente actitud de servicio.

2.3 Visión

Ser una reconocida comercializadora de maquinaria, refacciones y servicios para la industria, con una sólida estructura organizacional. Teniendo un continuo crecimiento tecnológico y presencia a nivel nacional e internacional, enfocada al buen servicio, calidad en nuestros productos y excelente relación con nuestros clientes.



2.4 Política Integral

Los que laboramos en Maquinaria y Accesorios S.A de C.V, estamos comprometidos con la política de gestión integral³ y en proporcionar el servicio para la venta, instalación, capacitación y mantenimiento de equipos y soluciones industriales:

- ✓ Cumpliendo con los requisitos acordados con nuestros clientes
- ✓ Previendo la contaminación al medio ambiente, así como las lesiones y enfermedades del personal que labora en la organización
- ✓ Cumpliendo los requisitos legales aplicables y otros a los cuales esté suscrita, relacionados con sus aspectos ambientales, así como con sus peligros relacionados con la seguridad y salud ocupacional
- ✓ Basados en el proceso de mejora continua en nuestro sistema de gestión integral

Por lo anterior basamos nuestra política en:

- ✓ Realizar las actividades, de manera eficaz y eficiente, con personal calificado, buscando cumplir las expectativas del cliente y manteniendo la estabilidad financiera del negocio
- ✓ Identificar y controlar los aspectos e impactos ambientales significativos derivados de nuestras actividades, productos y servicios, con el propósito de disminuirlos
- ✓ Hacer un uso eficiente y sostenible de los recursos utilizados en nuestras actividades, productos y servicios disminuyendo la contaminación
- ✓ Identificar los peligros de seguridad y salud ocupacional, con el propósito de mantener condiciones de un nivel de riesgo aceptable previniendo y controlando los riesgos potenciales que puedan provocar daños a la propiedad y a la integridad financiera de nuestros clientes y la comunidad.

2.5 Organigrama

Un organigrama es un esquema de la organización de una empresa, este permite analizar la estructura de la empresa representada y cumple un rol informativo al ofrecer datos sobre las características generales de la organización interna.

La estructura organizacional de MYASA cuenta con 42 trabajadores distribuidos en 9 áreas, esta estructura se encuentra determinada en el organigrama (Figura. 4) y en la Tabla 1.

En la empresa MYASA el área de servicios técnicos se encuentra dividido en tres; AS (AB), ST y SP. Tengo el cargo de Especialista técnico en el área de SP.

³ Política de gestión integral. Son las intenciones globales y de orientación de una organización, relativas a la calidad, medio ambiente y seguridad de este y salud ocupacional.

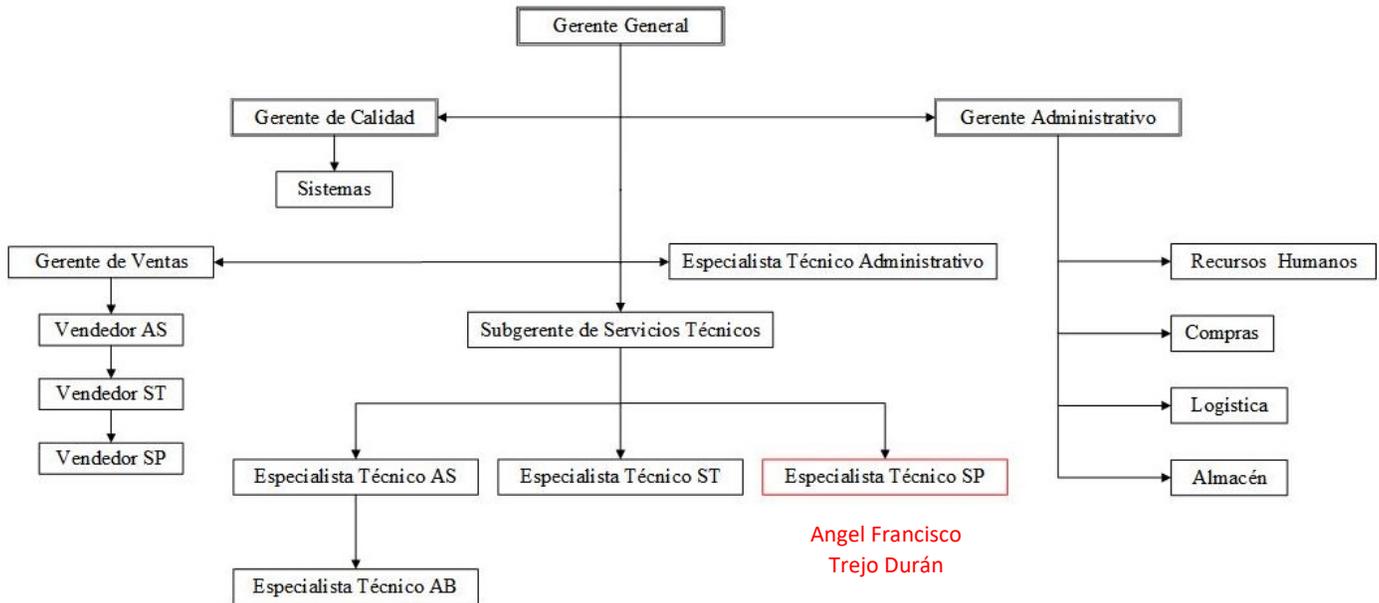


Figura. 4 – Organigrama de MYASA

Tabla. 1 – Personal por área de la empresa MYASA

Área	Personal
Gerencia	3
Ventas	11
Compras	2
Logística	2
Servicio Técnico	15
Sistemas	1
Taller de Servicios	2
Almacén	3
Recursos Humanos	3
Total	42



La actividad de las áreas se describe a continuación:

- **Gerencia** – Determinar los objetivos estratégicos⁴ de MYASA y comunicarlos a los responsables de las áreas involucradas. Revisar y en su caso autorizar el planeamiento de los objetivos tácticos⁵ propuestos por los responsables de las áreas involucradas, monitorear el cumplimiento de estos objetivos. Solicitar al personal involucrado, la implementación de acciones correctivas o preventivas con base a los resultados obtenidos en los objetivos.
- **Ventas** – Comercializar los productos y servicios de MYASA, de manera eficaz.
- **Compras** – Realizar las adquisiciones requeridas por las diferentes áreas de la organización de manera oportuna y eficaz.
- **Logística** – Coordinar el suministro y entrega de los productos solicitados por el cliente, buscando entregar los productos de acuerdo al documento de compra, con base en los tiempos establecidos.
- **Servicio técnico** – Diseñar los sistemas analíticos y productos relacionados, de manera oportuna y con base en las necesidades técnicas de las aplicaciones requeridas por el cliente. Proporcionar los servicios de instalación, puesta en marcha, capacitación, mantenimiento para los equipos y soluciones industriales de manera eficaz y eficiente.
- **Sistemas** – Realizar las actividades de revisión, mantenimiento y adquisición del equipo de cómputo, tener la información actualizada en el sistema S.G.I y realizar las actividades de capacitación.
- **Taller de servicios** – Recibir, revisar, reparar, almacenar, empacar, etiquetar y embarcar los equipos, cuidando la calidad durante su manejo, almacenamiento y entrega de manera oportuna.
- **Almacén** – Recibir, revisar, almacenar, empacar, etiquetar y embarcar los productos para su comercialización, así como las partes constitutivas de dichos productos, cuidando la calidad durante su manejo, almacenamiento, entrega de manera oportuna y optimizando los costos.
- **Recursos humanos** – Atender los requerimientos de contratación de personal y gestionar la capacidad necesaria, con el propósito de que el personal cuente con la competencia requerida para realizar sus actividades.

2.6 Descripción del puesto de Especialista Técnico

El cargo de especialista técnico tiene como objetivo: *proporcionar los servicios de instalación, puesta en marcha, capacitación, mantenimiento para los equipos industriales y soluciones de manera eficaz y eficiente.*

⁴ Objetivo estratégico. Son objetivos que definen el rumbo de la organización con base a las intenciones establecidas en la política de gestión integral, son formulados por la gerencia general de la empresa.

⁵ Objetivo táctico. Son objetivos que se dan a nivel de áreas o departamentos y son formulados por los gerentes de la empresa.



El perfil del especialista técnico es el siguiente:

- Denominación del puesto: Especialista Técnico
- Departamento: Servicios Técnicos SP
- Puesto inmediato superior: Subgerente
- Propósito del puesto: Proporcionar los servicios de instalación, mantenimiento, puesta en marcha, reparación y capacitación.

Descripción general de las actividades:

- Recibir la solicitud y orden de compra del cliente.
- Revisar el expediente de servicio del cliente.
- Solicitar al cliente los preparativos en las instalaciones para realizar el servicio requerido.
- Gestionar los requerimientos preliminares del cliente.
- Realizar la lista de materiales y herramientas que se requieren.
- Coordinar la logística para el traslado.
- Realizar el servicio requerido por el cliente.
- Realizar las pruebas de funcionamiento correspondientes.
- Realizar la capacitación al cliente.
- Elaborar reportes correspondientes de los servicios y actividades realizadas.
- Cumplir los aspectos de seguridad y ambiente establecidos.
- Promover la participación y consulta en temas de SSO.
- Asegurar el cumplimiento legal en materia de ambiente y de SSO aplicable a su área.
- Promover la conciencia en materia ambiental y de SSO con el personal de su área.
- Participar en la determinación de los objetivos de gestión, así como en el seguimiento de su cumplimiento.
- Cumplir con los controles operacionales establecidos en las matrices de evaluación de aspectos ambientales y peligros de SSO.
- Recibir la documentación, orden de servicio en blanco para posterior llenado y firma de aceptación del cliente.

Conocimientos: Conocimiento general técnico de equipos, sistemas de información y procesos informáticos, aspectos de seguridad y ambiente.

Escolaridad: Licenciatura en electrónica, eléctrica o mecánica.

Experiencia externa: En área de servicios.

Habilidades personales: Comunicación, dedicación al trabajo, trabajo en equipo, trato con clientes, proactivo, manejo de objeciones y trabajo bajo presión.



Por el perfil que tiene el especialista técnico las actividades que realiza dentro de la empresa MYASA son variadas, entre las que se encuentran:

- Prospección de clientes
- Asesoramiento al cliente en la compra de equipo industrial
- Manejo del software interno de la empresa VISUAL APPEAL
- Generación de cotizaciones, pedidos, vales, requisición
- Manejo de software de diseño
- Manejo de información técnica y expedientes
- Realizar cotizaciones de refacciones, equipos industriales, servicios de mantenimiento
- Monitoreo de la importación de los equipos industriales y refacciones
- Instalación de los equipos industriales
- Puesta en marcha de los equipos industriales
- Capacitación para la operación de los equipos industriales
- Mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos industriales
- Seguir las directrices del Sistema de Gestión Integral en el que está certificada la empresa MYASA
- Manejo de normas ISO 9001, 14001 y 18001

El cargo de especialista en servicios técnicos tiene una relación directa con todas las áreas dentro de MYASA:

- Servicio técnico & gerencia – Determinar los objetivos tácticos que conduzcan al cumplimiento de los objetivos estratégicos establecidos por el Gerente General. Determinar junto con el personal a su cargo, las estrategias que conducirán al cumplimiento de los objetivos tácticos. Monitorear el cumplimiento de los objetivos tácticos, así como los indicadores establecidos. Solicitar al personal involucrado la implementación de acciones correctivas o preventivas, con base en los resultados obtenidos en los objetivos tácticos o los indicadores relacionados con las estrategias establecidas.
- Servicio técnico & ventas – Información sobre requerimientos técnicos del producto o servicio para su cotización. Información relacionada con el expediente de cotización.
- Servicio técnico & compras – Información relacionada con la solicitud de documentación de los productos que se adquieren, información relacionada con la entrada del producto al almacén.
- Servicio técnico & logística – Información de la documentación de compra enviada por el cliente para la realización del servicio.
- Servicio técnico & sistemas – Instalación y capacitación de software para el manejo de equipo industrial.
- Servicio técnico & taller de servicios – Reparación de equipos.
- Servicio técnico & almacén – Servicio de suministro de productos solicitados.
- Servicio técnico & recursos humanos – Información relacionada con la necesidad de contratación de personal e información requerida por empresas para laborar en sus instalaciones.

3 – Definición del problema

La empresa **Restaurantes Toks S.A de C.V** fundada en 1971 por **Grupo Gigante S.A.B**, se dedica al sector del servicio y atención a clientes por medio de sus restaurantes o cafeterías, al inicio comenzaron con una cafetería en las cercanías de la Basílica de Guadalupe en la Ciudad de México y actualmente cuentan con más de 100 restaurantes distribuidos a lo largo de la República Mexicana.

Su cultura organizacional está basada en la popularización de la experiencia de comer en un restaurante especializado por lo que el servicio de alimentos sanos, frescos, de buen sabor y el cuidado del medio ambiente, son una parte fundamental de los objetivos o directrices de esta empresa.

Por lo anterior mencionado, la empresa procura tener alimentos de buena calidad, lo cual consigue teniendo maquinaria especializada en el procesamiento de alimentos y concentrando sus actividades de producción en un comisariato (Figura. 5) en el que se supervisa el procesamiento de todos sus productos y la distribución de los mismos a sus diferentes sucursales en la Ciudad de México.



Figura. 5 – Comisariato de Restaurantes Toks, Norte 35 #895 Colonia Industrial Vallejo Delegación Azcapotzalco

La empresa Restaurantes Toks S.A de C.V al tener una gran cantidad de sucursales se ven obligados a reducir los tiempos y costos en su cadena de producción. Por lo anterior descrito necesitan que la maquinaria que poseen se encuentre en óptimas condiciones para su operación, esto con la finalidad de no detener la producción de sus productos porque 34 restaurantes dependen directamente de este comisariato.

El comisariato cuenta con un sistema para el tostado de café en verde de la compañía Probat⁶.

Este sistema (Figura. 6) está constituido por:

- Tostador **Probatone 60 : 15/40052**
- Postquemador (afterburner) **TVR/GEH : 15/40052**

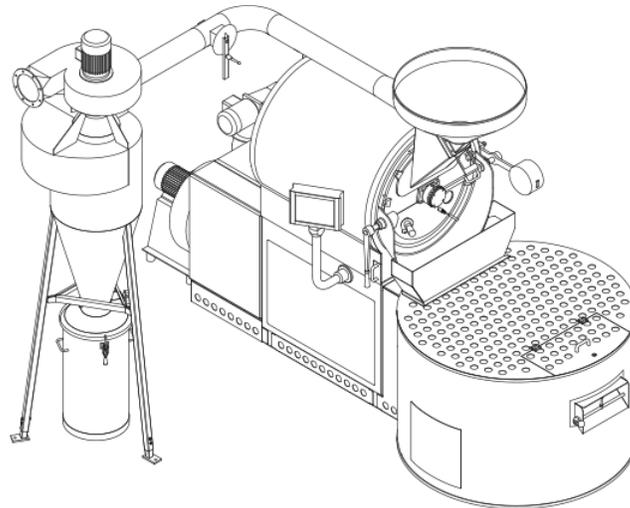


Figura. 6 – Equipo Probatone 60

Estos equipos están diseñados para el proceso de tostado de café en volumen, por lo que proporcionan un alto nivel de eficiencia, las herramientas de monitoreo continuo garantizan resultados consistentes en cada lote de tostado. Por cada ciclo de tostado el equipo puede procesar hasta 60 [kg] de café en verde y puede realizar hasta 4 ciclos de tostado por hora.

Este sistema se puede analizar en seis etapas (Figura. 7):

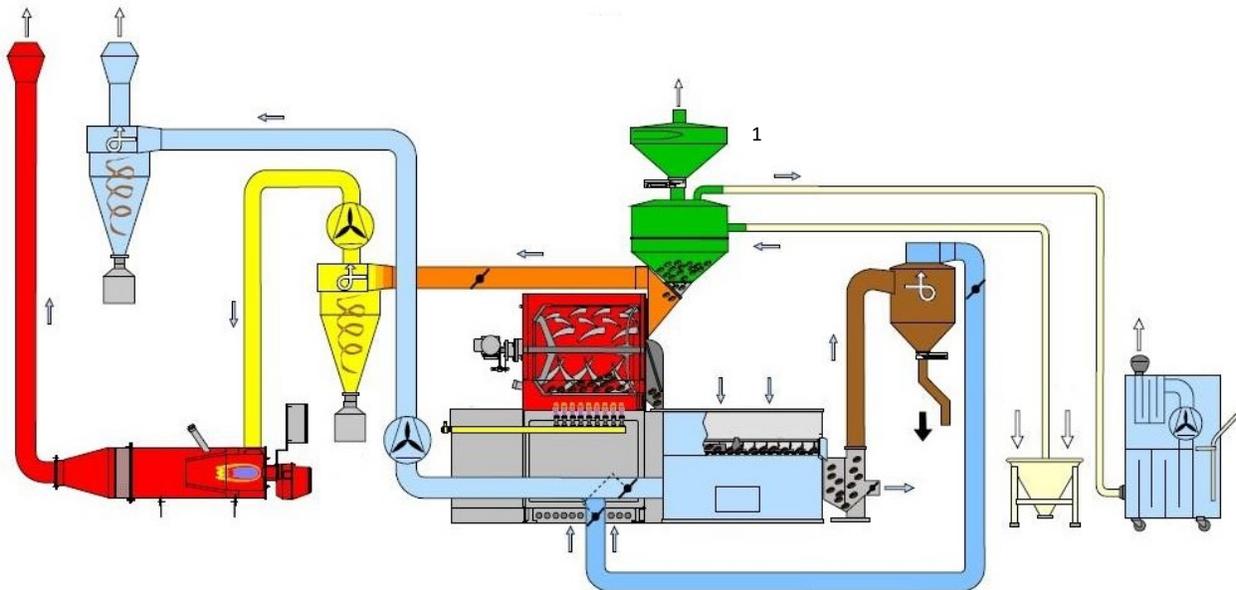


Figura. 7 – Etapas del Probatone 60 con postquemador

⁶ Probat Emmerich. Empresa internacional compuesta por Probat Burns y Probat Leogap, cuyo principal foco de interés es el desarrollo de tecnología y equipos para el procesamiento de café en verde.

1. **Dosificador de café en verde:** vierte el café en verde al tambor de tostado
2. **Tambor de tostado:** genera la deshidratación y expansión del grano de café, le da sus propiedades y la homogenización del producto
3. **Ciclón de recolección de pajilla:** extrae el aire caliente, olores, humos y pajilla que se desprende del café en verde durante el ciclo de tueste
4. **Postquemador:** permite controlar las emisiones de residuos peligrosos de un quemador
5. **Ciclón de enfriamiento:** extrae el exceso de calor del café al final del proceso de tostado
6. **Despedrador:** separa por densidad a los granos de café tostados de residuos no deseados

Para monitorear la línea y el proceso, existe un software de la compañía Probat llamado: **Pilot Roaster PC**, el cual verifica en tiempo real los equipos, advierte de fallas o anomalías durante el ciclo de tostado. La utilización de esta herramienta es de vital importancia para el proceso de tostado ya que la empresa Restaurantes Toks S.A de C.V maneja un índice de calidad⁷ en el proceso y necesita que su producto se mantenga constante.

En este software se muestra las temperaturas del ciclo de tostado, así como una amplia gama de valores relevantes, el proceso de tostado se visualiza por medio de una curva de temperatura contra tiempo (Figura. 8), los datos de los lotes anteriores se pueden respaldar y comparar para el monitoreo del proceso de producción. Esto garantiza que la maquina pueda procesar una variedad de productos de tostado, minimizando los factores externos en el proceso y obteniendo una calidad constante en cada lote.



Figura. 8 – Software Pilot Roaster PC

⁷Índice de calidad. Número asignado al café molido (previamente tostado) basado en su color, existen las siguientes escalas de medición: agrtron, probat, quantik y track, cada una con diferente rango, basadas en el color del grano de café tostado.

El software también alerta sobre fallas que estén sucediendo durante el ciclo de tostado por lo que a principios del mes de enero del año en curso el personal de mantenimiento de la empresa Restaurantes Toks S.A de C.V se percata de una falla que empieza a tener mayor frecuencia en la línea de producción, motivo por el cual tienen que detener la producción afectando el suministro de café en todos los restaurantes de esta cadena en la Ciudad de México.

A mediados del mes de enero, el responsable de mantenimiento de esta empresa se comunica vía telefónica con el Subgerente del área SP de servicios técnicos para solicitarle una revisión para su línea de producción de tostado de café porque está presentando problemas en el postquemador (Figura. 9).

La función de un postquemador es la depuración térmica de los gases, humos, olores y partículas contaminantes que son el resultado de una combustión. Estos sistemas son colocados en los ductos de extracción. Es una solución idónea para cumplir con la normatividad medioambiental.

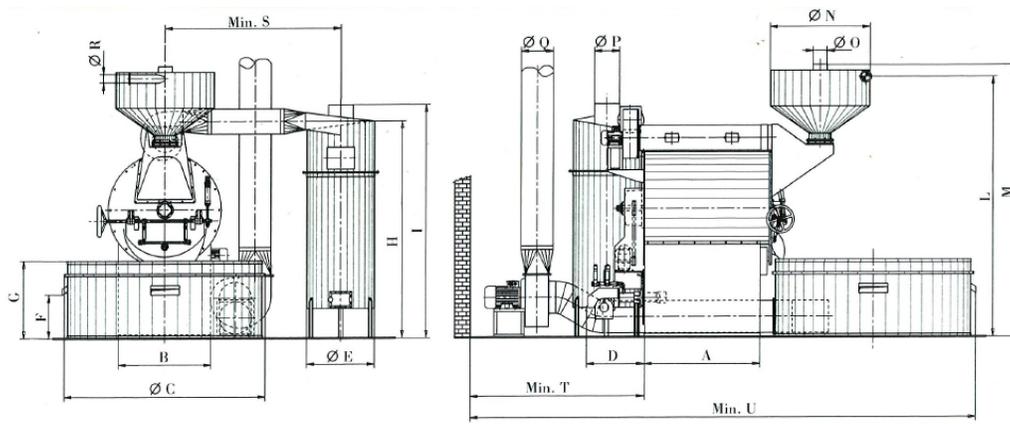


Figura. 9 – Línea de producción Probatone 60 con afterburner o postquemador

En la llamada telefónica el jefe de mantenimiento comentó que su experiencia con esta falla es nueva, sin embargo, los operadores de la línea le reportaron que anteriormente ya se había presentado el problema. El cual desapareció, motivo por el cual no prestaron atención.

Vía telefónica reporta la falla:

“El equipo funciona correctamente al principio del ciclo de tostado, al iniciar el ciclo del postquemador comienza bien: enciende, aumenta la flama, hace un trabajo normal pero después de pocos segundos de estar trabajando se apaga de la nada, lo hemos tratado de encender nuevamente pero no reacciona el equipo de inmediato, hay que dejarlo reposar como una hora para volverlo a encender, pero repite la falla. Podrían venir ayudarnos a solucionar el problema porque tenemos la producción parada y tenemos el riesgo que pueda haber una explosión por la acumulación de gas porque huele mucho”



4 – Desarrollo del caso de estudio

4.1 Primer contacto

Se le solicitó al jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V que la descripción del problema que reportó vía telefónica, la hiciera llegar por escrito vía correo electrónico, ya que el sistema de calidad que maneja la empresa MYASA no da servicios de compra de refacciones, mantenimiento o cualquier otra información de los equipos industriales importados o desarrollados por una vía de comunicación informal (vía telefónica) y todo tiene que ser por escrito para poder ser documentado.

En el correo electrónico el jefe de mantenimiento redactó: *el postquemador ya había presentado esta falla la primera vez fue a finales del año 2016 y la segunda fue a finales del 2017, pero en esta ocasión se está presentando a inicios del año en curso, anteriormente había desaparecido en forma espontánea después del cuarto o quinto intento de encendido del equipo, pensábamos que la falla era originada por un congelamiento en las líneas de gas, ya descartamos esta posibilidad. Se está haciendo más frecuente y no hemos podido lograr que el equipo funcione correctamente en varios días.*

El jefe de mantenimiento pide a la empresa MYASA, un diagnóstico o ir a solucionar el problema porque tiene la producción intermitente de tostado de café de este comisariato del que dependen 34 restaurantes que no se pueden quedar si el servicio de café y no es una posibilidad comprar este producto a un tercero por que no obtendrían la misma calidad de su producto.

Con la solicitud formal del cliente, el Gerente General reunió a todos los especialistas técnicos para asignar el proyecto. El área de SP fue la seleccionada para dar solución al problema.

Después de la selección del área tuve una plática con el Subgerente del área SP para determinar si teníamos la capacidad para resolver el problema o traíamos al servicio técnico de la empresa Probat. Concluimos que teníamos la capacidad para solucionar el problema y aunque estábamos limitados de información me asigno el proyecto dada mi experiencia con equipos industriales y conocimientos de ingeniería.

Posteriormente a la asignación me puse en contacto con el cliente y agendé la primera cita el día 16 de enero del 2018 para la revisión de la línea de producción. Durante esta visita recaudé información de los equipos que componen esta línea, pero no pude observar la falla que me reportaron, no pudieron encender el equipo por falta de energía eléctrica.

Con la información recabada, generé una orden de servicio **AM15/MY-SE0436-4** en el software Visual Appeal⁸ (Figura. 10), la cual revisó el Gerente General para su autorización, posteriormente se la envió al jefe de mantenimiento para que aceptara los términos y condiciones de esta cotización.

Hasta que no tuve firmada de aceptación esta cotización, no realicé ninguna actividad, relacionada con el proyecto **“IBN Probatone 60”**, esto por las políticas internas de la empresa MYASA.

⁸ Visual Appeal. Software interno de Maquinaria y Accesorios S.A de C.V que permite realizar las actividades internas de la empresa y el almacenamiento de la base de datos de los clientes.

El día 18 de enero del 2018 me hicieron llegar la aceptación de la cotización para el servicio, le notifique al Gerente General de la empresa MYASA sobre la aceptación y me dio la autorización de inicio del proyecto.

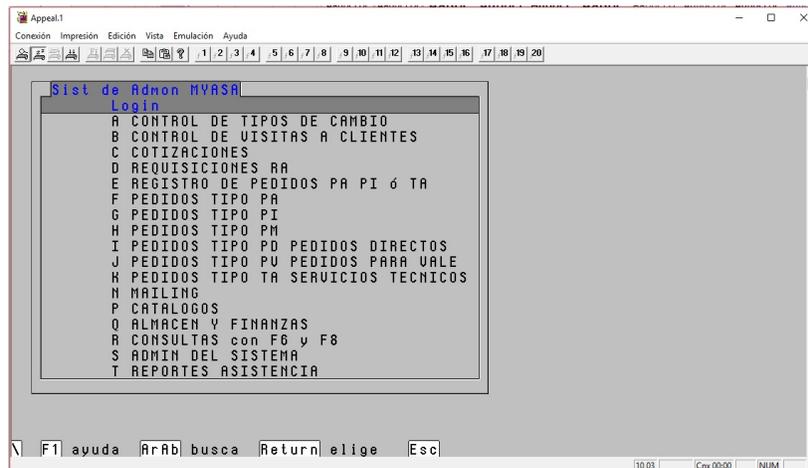


Figura. 10 – Software interno de MYASA, Visual Appeal

Posteriormente con esta autorización me comuniqué vía telefónica con el jefe de mantenimiento para hacerle saber sobre el inicio del proyecto y la necesidad de recaudar más información, agendé una segunda cita el día 19 de enero del 2018, en esta visita revisé más a detalle el equipo (Figura. 11) y así obtuve la información de datos técnicos de la línea de producción, toda esta información que recaudé la llevé a la empresa MYASA para su análisis.

Durante la revisión a la línea de producción, noté algunas fallas de los equipos de los que está compuesta, realicé los ajustes de calibración para adecuar los equipos a un mejor funcionamiento.



Figura. 11 – Probatone 60 con postquemador instalado en el comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V

Durante esta visita pude observar la falla que estaba limitando a la línea de producción de café tostado a un par de horas al día (después de medio día), sin embargo, el tiempo de uso, no era suficiente para satisfacer su necesidad de producción.

4.2 Necesidad

La necesidad que tiene Restaurantes Toks S.A de C.V es la de obtener café de excelente calidad, este proceso es el que le da el sabor característico de todos sus productos hechos de café, esto con la finalidad de siempre tener la experiencia del buen comer en cualquiera de sus restaurantes.

El 70% de las personas que acuden a sus restaurantes consumen algún producto realizado con café (Figura. 12), al no tener el abastecimiento de café necesario en sus restaurantes tienen el riesgo de no satisfacer esta demanda.



Figura. 12 – Producto de Restaurantes Toks S.A de C.V elaborado con café

Al ser una empresa comprometida con el medio ambiente en la fabricación de sus productos, toman las medidas necesarias para eliminar una excesiva contaminación. Al no tener su equipo funcionando correctamente la empresa tiene mayor generación de contaminación e incumple la normatividad medioambiental.

4.3 Diagnóstico

Después de la visita que realicé el día 19 de enero del 2018 al comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V, en la cual observé el funcionamiento de las etapas del equipo, valoré la falla y reuní toda la información necesaria para la solución del problema.

- Realicé una junta con el Subgerente del área de SP en la que revisamos la información, con la cual determinamos la o las fallas que pudieron hacer que se detuviera la línea de producción
- Realicé un análisis de las etapas de la línea de producción de tostado de café

En este análisis comprobé que los equipos instalados en la línea de producción (Figura. 13) fueran los adecuados, esto lo hice para ir reduciendo el margen de la falla de los equipos y con este método determiné en que etapa se presentaba la falla que detenía la producción de café tostado.

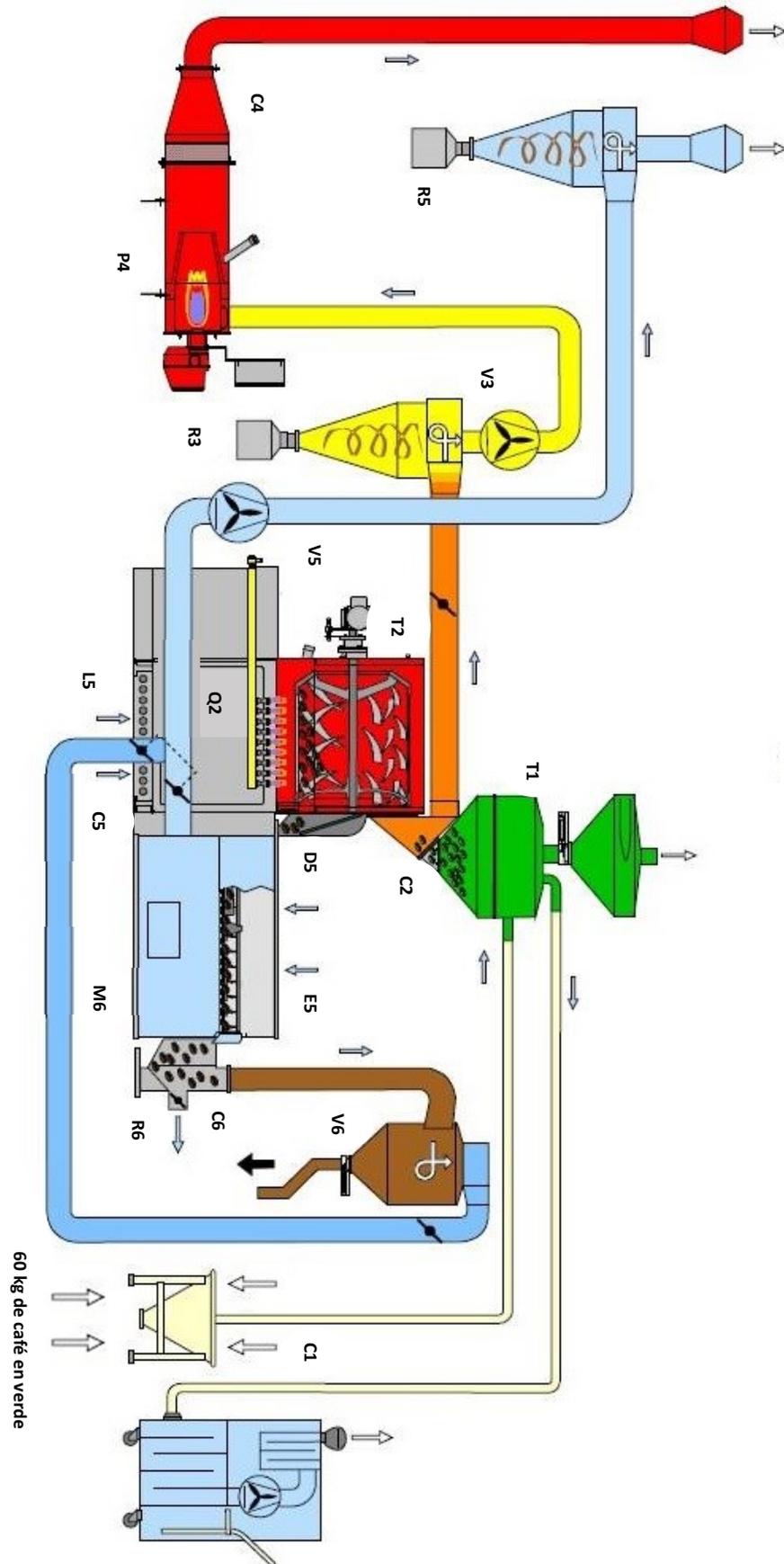


Figura. 13 – Línea de producción de tostado de café

A continuación, se muestran los análisis que realicé para cada equipo de las diferentes etapas:

a) La etapa número uno “**dosificador de café en verde**” (Figura. 14), funcionó correctamente. Calculé la presión de vacío para subir por succión 60 [kg] de café en verde depositados en el contenedor (C1) e introducirlos a la tolva de llenado (T1). En el extremo inferior de la tolva se encuentra una corredera de llenado (C2) para alimentar al tambor de tostado, se puede observar en la Figura 13.

Cuando se va a iniciar el ciclo de tostado de café se empuja la corredera y se deja caer el grano de café en verde, una vez que terminó la descarga se retrae la corredera de forma manual para cerrar el conducto de alimentación e iniciar el proceso de carga nuevamente.

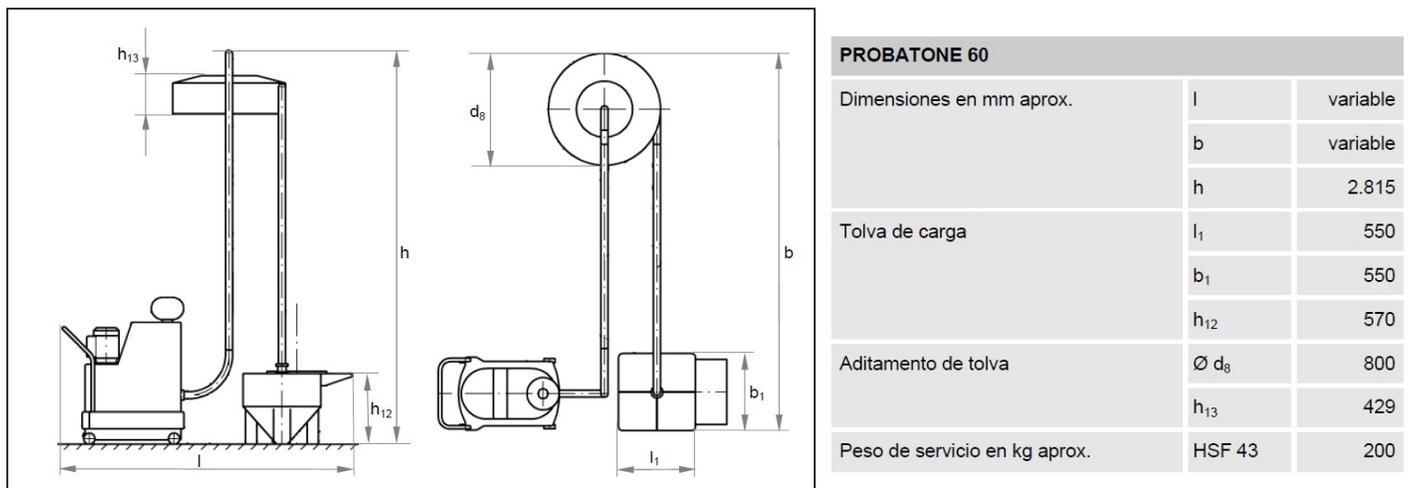


Figura. 14 – Diagrama y tabla de dimensiones del dosificador de café en verde

De las especificaciones técnicas del equipo, de la información que recaudé en las visitas y de los manuales del equipo, obtuve la siguiente información:

La tolva necesita ser abastecida con 20 [kg/min] de café en verde, para calcular la presión de succión necesaria para abastecer la tolva utilicé los datos técnicos del equipo, como son:

Los diámetros de las tuberías de conexión y las alturas de las conexiones (Figura. 15)

$$\rho_{\text{café}} = 680 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad , \quad \phi_1 = 0.05 \text{ [m]} \quad , \quad \phi_2 = 0.08 \text{ [m]} \quad , \quad \dot{m} = 0.333 \text{ [kg/seg]}$$

$$\dot{m} = \rho_{\text{café}} (\tilde{v}) \quad ; \quad \tilde{v} = A (v)$$

Considere el dato de abastecimiento anterior como el gasto másico en el punto 2 a la entrada de la tolva de la Figura 15, entonces la v₂ es:

$$v_2 = \dot{m} / (\rho_{\text{café}} (A_2))$$

$$v_2 = 0.333 / ((680)(\pi)(0.04)^2)$$

$$v_2 = 0.0975 \text{ [m/seg]}$$

Utilicé la ecuación de continuidad para determinar la v_1

$$A_1 (v_1) = A_2 (v_2) \quad , \quad v_1 = (A_2 (v_2)) / A_1$$

$$v_1 = (((\pi)(0.04)^2)(0.0975)) / ((\pi)(0.025)^2)$$

$$v_1 = 0.2496 \text{ [m/seg]}$$

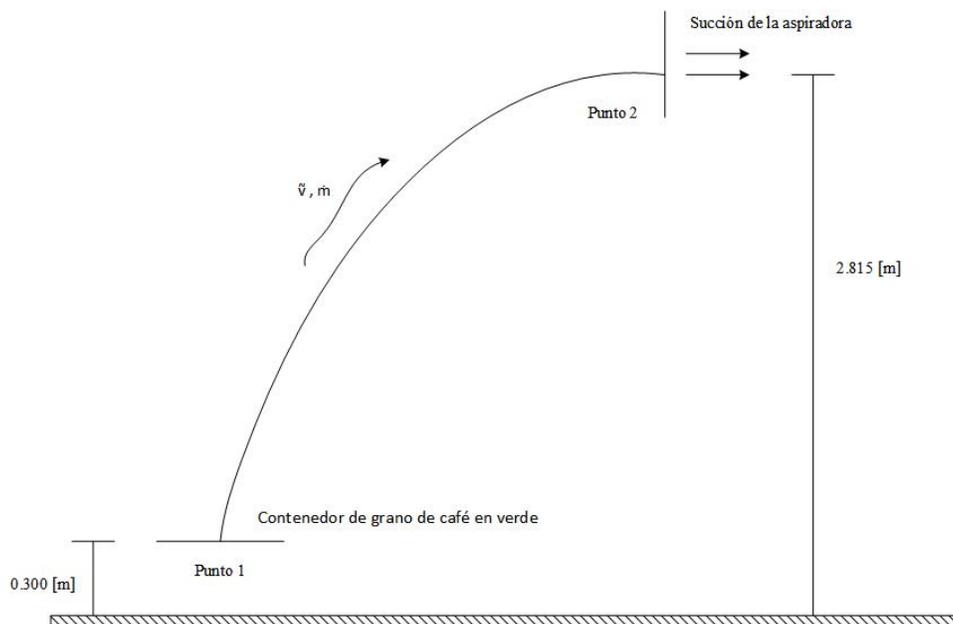


Figura. 15 – Esquema de presiones en la etapa uno

Utilicé la ecuación de Bernoulli⁹ para calcular la presión de succión necesaria para alimentar el sistema dosificador de café en verde sin fragmentar el grano.

⁹ Ecuación de Bernoulli. Considerada como la ecuación de conservación de la energía, expresa la igualdad de trabajo por unidad de volumen del fluido, considera la suma de la energía potencial, cinética y trabajo por unidad de volumen que tienen lugar en el flujo. Al utilizar esta ecuación consideramos:

- no hay viscosidad
- el caudal es constante
- fluido incomprensible (no varía la densidad)
- no hay pérdida de energía

Para esto consideré que el flujo era estable, incompresible, sin fricción a lo largo de una línea de corriente:

$$h_2 = 2.50 \text{ [m]} \quad , \quad g_{cdmx} = 9.78 \text{ [m/seg}^2\text{]} \quad , \quad h_1 = 0.30 \text{ [m]}$$

$$P_1 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_1)^2 + ((\rho)(g)(h_1)) = P_2 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_2)^2 + ((\rho)(g)(h_2))$$

Observé que el punto 1 de la Figura 15, está abierto al ambiente por lo que consideré la presión atmosférica como nula, para obtener la presión manométrica a la entrada de la tolva

$$P_2 = P_1 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_1)^2 + ((\rho)(g)(h_1)) - ((\frac{1}{2})(\rho)(v_2)^2 - ((\rho)(g)(h_2))$$

$$P_2 = ((\frac{1}{2})(\rho_{café})(v_1^2 - v_2^2)) + ((\rho_{café})(g_{cdmx})(h_1 - h_2))$$

$$P_2 = ((\frac{1}{2})(680)((0.2496)^2 - (0.0975)^2)) + ((680)(9.78)((0.30) - (2.50)))$$

$$P_2 = -13612.52 \text{ [Pa]} \quad \text{ó} \quad P_2 = -136.12 \text{ [mBar]}$$

La presión (P_2) es negativa porque es la succión que necesita generar la aspiradora para abastecer a la tolva

Observé en el vacuómetro del equipo (Figura. 16), que la presión de succión es de 125 [mBar], esta es menor a la que calculé, en el cálculo de la presión teórica no consideré las perdidas por fricción a lo largo de la tubería, ni en los elementos de unión.

En el libro **Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas**, el autor Claudio Mataix (1975, pag.193) “las pérdidas secundarias por fricción en las tuberías cerradas tienen poca importancia, pudiendo despreciarse o bien al final suelen ser del orden del 5 al 10%”, restando este porcentaje a la presión P_2 :

Considere el 8% para las perdidas por fricción

$$P_2 = 13612.52 - ((13612.52)(0.08))$$

$$P_2 = -12523.52 \text{ [Pa]} \quad \text{ó} \quad P_2 = -125.23 \text{ [mBar]}$$

La presión P_2^{real} es igual a la $P_2^{teórica}$, la diferencia es por resolución del equipo de medición



Figura. 16 – Presión manométrica de vacío que genera la aspiradora

b) La etapa número dos “**tambor de tostado**” (Figura. 17), funciona correctamente. Debajo del tambor de tostado (T2), se encuentra un quemador de gas (Q2), que calienta el tambor por medio de convección. La temperatura en el tambor se monitorea permanentemente, cuando esta temperatura alcanza los 210 [°C] se acciona la corredera de llenado (C2) para depositar el café en verde dentro del tambor de tostado, se puede observar en la Figura 13.

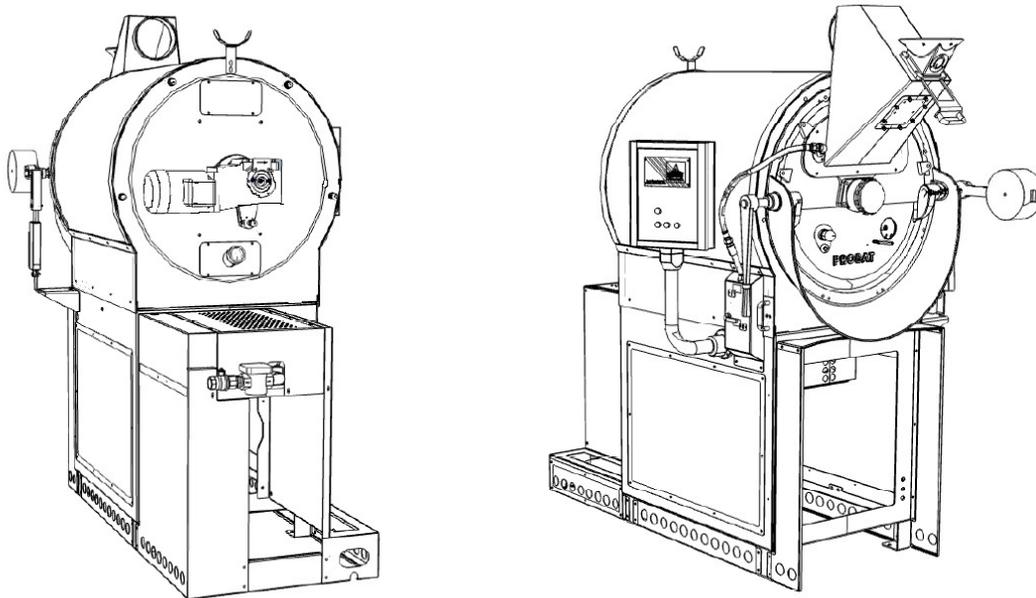


Figura. 17 – Diagrama del tambor de tostado

El tambor de tostado es un cilindro posicionado horizontalmente con accionamiento de rotación, en el tambor de tostado están dispuestas regletas arrastradoras transversales al eje sobre una trayectoria circular, estas agitan el producto intensamente y lo mezclan para que el calor se transmita uniformemente. El progreso del tostado se supervisa a través de un vidrio visor o con la ayuda de un sacamuestras (Figura. 18).



(a)



(b)

Figura. 18 – Tambor de tostado (a) regletas del tambor de tostado, (b) toma de muestras durante el ciclo de tostado

En el tambor de tostado se dispone de una toma de agua (Figura. 19), hay procesos de tostado que Restaurantes Toks S.A de C.V realiza, estos procesos al final del ciclo necesitan hidratar el grano rociando agua sobre este antes de que salga del tambor. Este sistema también funciona para sofocar incendios ocasionados por la inflamabilidad de los residuos del café dentro del tambor.

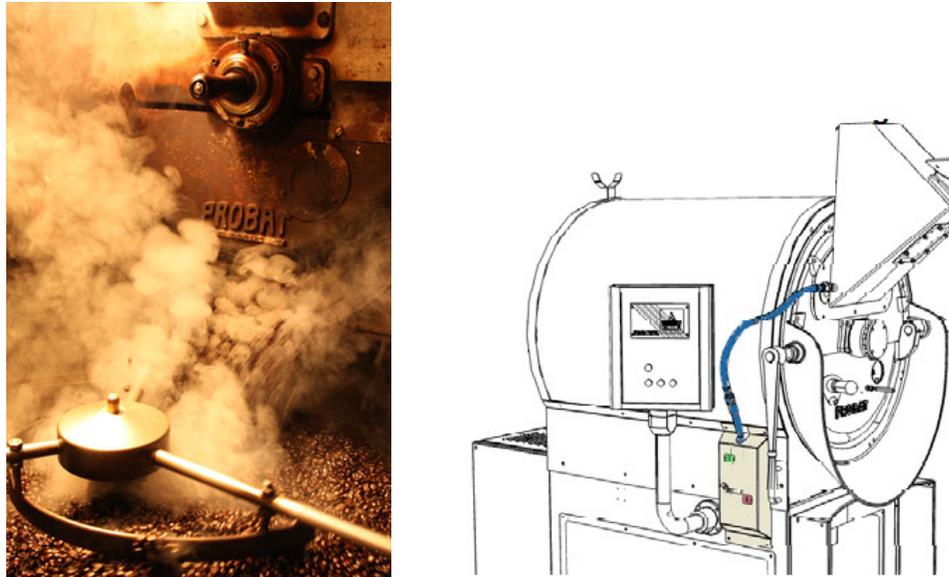
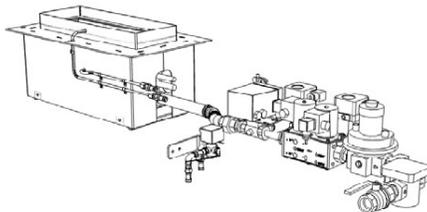


Figura. 19 – Sistema de alimentación de agua contra incendios

De las especificaciones técnicas del equipo corroboré, que la presión del gas natural en la línea de suministro del quemador, fuera la indicada para tener una buena combustión (Figura. 20).

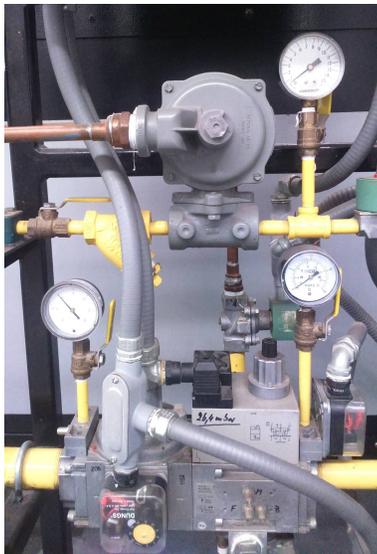


Grupo de gas	Presión de flujo	Presión de entrada	Capacidad nominal de gas
Propano	mín. 20 mbar	máx. 300 mbar	máx. 100 kW
Gas natural			

Figura. 20 – Tabla de presiones de gas requeridas para el equipo Probatone 60 y quemador

La presión en la línea de suministro de gas natural a la salida del tren de reguladores se encontraba correctamente (Figura. 21), la presión que se encontraba baja era la del aire para la cámara de mezclado antes de entrar al quemador, por lo anterior se tenía una flama naranja y no azul como se requería para este proceso, le aumenté la presión de aire para que la flama fuera la indicada.

- Llama naranja (Figura. 21) – esta llama se conoce como luminosa y es el resultado de una mezcla de gas con insuficiencia de oxígeno, genera una combustión incompleta. Emite luz porque contiene partículas sólidas que se vuelven incandescentes debido a la alta temperatura que soportan. Esta llama genera una gran pérdida de calor y alcanza temperaturas de hasta 900 [°C]
- Llama azul (Figura. 21) – esta llama se conoce como no luminosa y es el resultado de una mezcla de gas con la cantidad adecuada de oxígeno, genera una combustión completa. Casi no emite luz porque no hay partículas sólidas incandescentes. Esta llama genera una eficiente utilización de calor y alcanza temperaturas de hasta 1300 [°C]



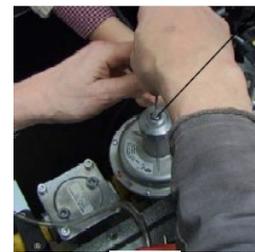
(a)



(b)



(c)



(d)

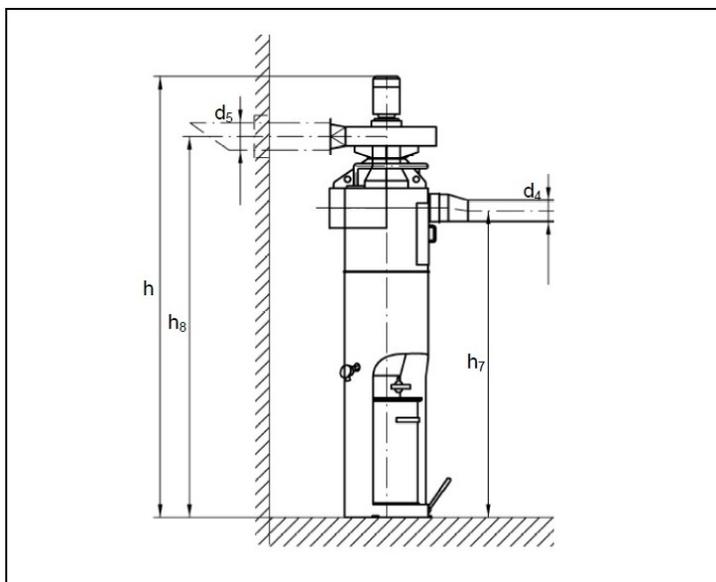
Figura. 21 – (a) tren de reguladores, (b) llama de combustión incompleta, (c) llama de combustión completa, (d) ajuste del regulador de mezcla de gas y aire

Al ajustar la presión de aire a la entrada del quemador, se mejoró la operación y logré reducir en 10% aproximadamente el tiempo del ciclo de tostado de café.

El tambor de tostado se encontraba trabajando normalmente, no encontré regletas de arrastre desprendidas y tampoco detecté ruidos de golpes del motor contra la carcasa del tostador.

c) La etapa número tres “**ciclón de recolección de pajilla**” (Figura. 22), funciona correctamente. Los gases de escape generados por el proceso de tostado junto con los residuos (pajilla) desprendidos por el proceso de expansión del grano de café en verde y el polvo del tueste son aspirados por el ventilador del ciclón de recolección de pajilla (V3), debajo de este ciclón se encuentra un recipiente recolector en donde se almacena la pajilla (R3) y el polvo del tueste, se puede observar en la Figura 13.

Esta pajilla por ser un residuo orgánico deshidratado es altamente inflamable por lo que la presión de succión debe de ser la indicada para desalojar todo este residuo del tambor de tostado, si llega a tener contacto directo con las paredes calientes del tambor puede incendiarse.



PROBATONE 60		
Dimensiones en mm aprox.	l	745
	b	745
	h	2.921
Tubería de gas de tueste en mm aprox.	$\varnothing d_4$	DN 140
	h_7	2.030
Tubería de aire de escape en mm aprox.	$\varnothing d_5$	DN 180
	h_8	2.532
Peso de servicio en kg aprox.	Ciclón	150

Figura. 22 – Diagrama y tabla de dimensiones del ciclón de recolección de pajilla

Corroboré el buen funcionamiento de esta etapa, verificando la presión de succión del ciclón junto con la posición de la corredera de succión (C3), se puede observar en la Figura 13. Esta corredera (Figura. 23) regula la presión y el flujo de aire caliente que está dentro del tambor de tostado:



Figura. 23 – Corredera para regular la presión y el flujo de aire dentro del tambor de tostado

- Si la corredera se encuentra demasiado cerrada, se apaga el quemador por seguridad ya que existe una mayor presión dentro del tambor de tostado, puede ocasionar explosiones o que se incendie la pajilla
- Si la corredera se encuentra demasiado abierta, aspira los granos de café que se encuentran en el interior del tambor de tostado por lo que se generan pérdidas en la producción final y daña los ventiladores

De las especificaciones técnicas del equipo, la presión de succión debe de ser de 22 [mmH₂O], esta presión estaba por debajo, 16 [mmH₂O] fue la medición tomada así que ajusté la corredera hasta que obtuve la presión necesaria (Figura. 24).



Figura. 24 – Medición de la presión de succión en la tubería de extracción del ciclón de enfriamiento

d) La etapa número cuatro “**postquemador**” (Figura. 25), funciona correctamente. El aire que succiona el ciclón de recolección, primero se libera de la pajilla y del polvo del tueste, a continuación, se encamina a la recámara del quemador de postcombustión (P4). Después de que los gases son sobrecalentados, pasan a un catalizador (C4) el cual hace que los gases de salida de la combustión se conviertan en CO₂ y H₂O, posteriormente son liberados al ambiente, se puede observar en la Figura 13.

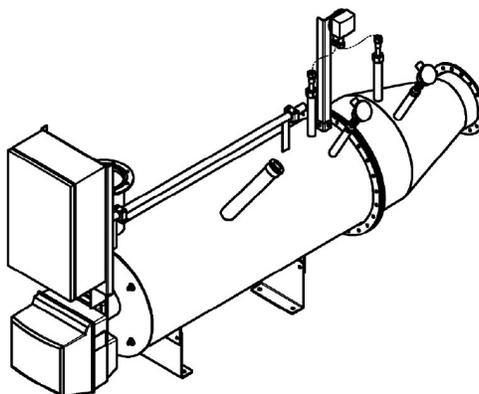


Figura. 25 – Diagrama del postquemador con catalizador

Observé en el termómetro del equipo que la temperatura de los gases, antes de entrar al catalizador del postquemador fuera de 450 [°C] aproximadamente, y que el quemador estuviera realizando buena combustión (Figura. 26), estos datos están descritos en los manuales técnicos del equipo, monitoreé que el inicio y fin de ciclo de esta etapa estuviera sincronizada con el ciclo de tostado.



Figura. 26 – Cámara del postquemador, quemador y revisión de flama

Al generarse una combustión incompleta¹⁰ se producen pequeñas cantidades de gases peligrosos, el objetivo del catalizador es reducir este nivel de gases a la salida del sistema. Los catalizadores consisten en una estructura de material cerámico, cubierta con una capa de metales, la estructura es en forma de panal de abeja, de esta manera se consigue que los gases CO y NO tengan una mayor superficie de contacto contra el catalizador (Figura. 27)



Figura. 27 – Convertidor catalítico o catalizador

El rango de la temperatura de los gases a la entrada del catalizador debe de ser de entre 420 – 480 [°C], los metales (Rodio [Rh], Platino [Pt], Paladio [Pd]) con los que está recubierto el bloque cerámico del catalizador convierte los gases nocivos CO y NO en los gases CO₂, N₂ y vapor de agua H₂O, posteriormente por densidad escapan al medio ambiente por un sistema de chimenea (Figura. 28).

¹⁰ Combustión incompleta. Es aquella en la que la relación de combustible y comburente se encuentra desbalanceada produciéndose monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO) y partículas sólidas (hollín). Estos productos tienen un mayor impacto medioambiental.

Las combustiones que se generan en los quemadores no son ideales, por lo que se considera el uso de sistemas con postquemador y catalizador para minimizar el impacto medioambiental.

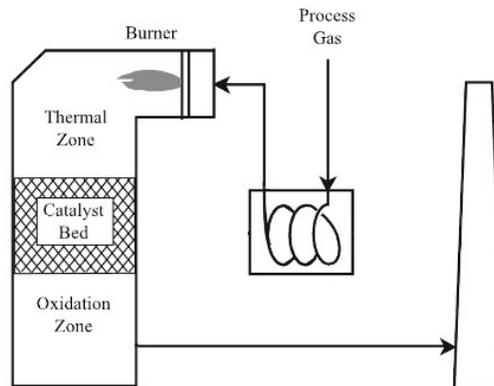


Figura. 28 – Sistema de postquemador con convertidor catalítico o catalizador

El catalizador realiza dos procesos: reducción¹¹ y oxidación¹² para la depuración de los gases nocivos producto del proceso de tueste, con el uso de un catalizador o sistema de convertidor catalítico se reduce en un 80% la emisión de partículas dañinas al medio ambiente.

Revisé que el convertidor catalítico no se encontrara obstruido por exceso de hollín que se genera en los conductos de este, si estuviera obstruido, decae la eficiencia: genera más gases nocivos, incumple con la norma medioambiental, se alarma el equipo y deja de trabajar (Figura. 29).

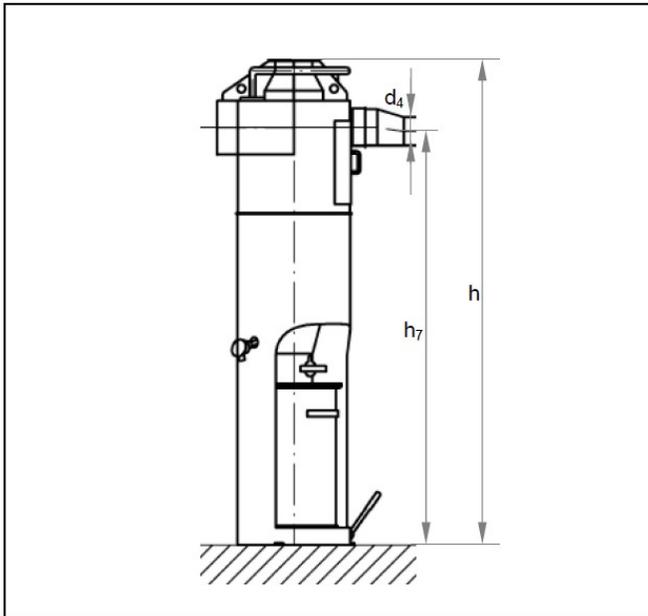


Figura. 29 – Catalizador parcialmente obstruido

¹¹ Reducción. Es la primera etapa del convertidor catalítico, utiliza platino y rodio, para disminuir las emisiones de óxido de nitrógeno. Cuando una molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con él, atrapa el átomo de nitrógeno y libera el oxígeno, es entonces cuando el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno.

¹² Oxidación. Es la segunda etapa del convertidor catalítico, utiliza platino y paladio. Toma el monóxido de carbono y lo hace reaccionar con el oxígeno que viene de la etapa anterior, generando dióxido de carbono.

e) La etapa número cinco “**ciclón de enfriamiento**” (Figura. 30), funciona correctamente. Una vez que el grano de café ha alcanzado el grado de color deseado, se activa el mecanismo agitador (M5), se abre la compuerta de descarga (D5), se activa el ventilador del ciclón de enfriamiento (V5), se abre la compuerta de liberación de aire (C5) y se cierra la compuerta de liberación del despedrador (L5) para evitar flujos en retroceso, se puede observar en la Figura 13.



PROBATONE 60		
Dimensiones en mm aprox.	l	770
	b	770
	h	2.682,5
Tubería de gas de tueste en mm aprox.	Ø d ₄	DN 250
	h ₇	2.325
Peso de servicio en kg aprox.	Ciclón	150

Figura. 30 – Diagrama y tabla de dimensiones del ciclón de enfriamiento

Se comienza con el vaciado del tambor de tostado (Figura. 31), el café caliente fluye sobre el contenedor de enfriamiento (E5), se puede observar en la Figura 13, con ayuda del mecanismo agitador se distribuye el grano caliente de café tostado en el contenedor.



Figura. 31 – Vaciado de café recién tostado e inicio del proceso de enfriamiento de este

El ventilador del ciclón de enfriamiento extrae el exceso de calor del grano a través del fondo de malla perforada del contenedor de enfriamiento. Las partículas de polvo que transporta el aire succionado se separan del flujo y son depositados en un recipiente recolector (R5), se puede observar en la Figura 13, el aire succionado se deja escapar al medio ambiente (Figura. 32).



(a)



(b)

Figura. 32 – (a) contenedor de enfriamiento, (b) recipiente recolector de pajilla

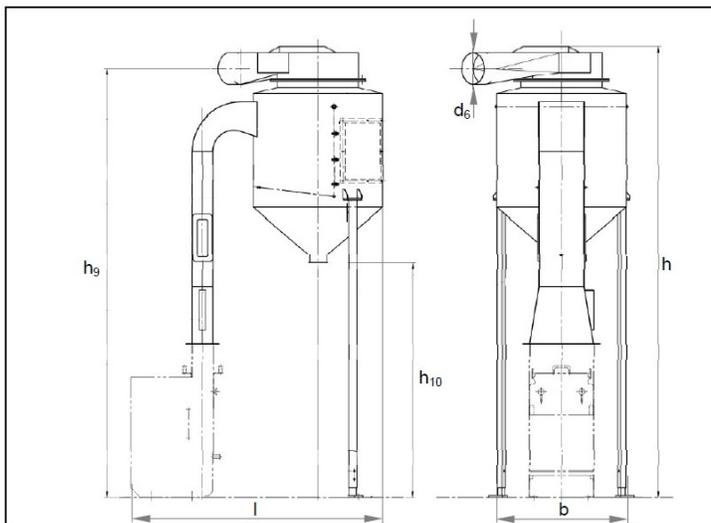
Revisé que el motor del ventilador de extracción de enfriamiento funcionara correctamente (Figura. 33), aquí no existe equipo de medición por lo que corroboré este funcionamiento con el tiempo del ciclo de tostado¹³, de igual manera revisé que el mecanismo agitador (Figura. 33), tuviera el torque necesario para desplazar por el contenedor todo producto procesado y que los cepillos no se encontraran dañados.



Figura. 33 – Ventilador de extracción y mecanismo agitador

¹³ Tiempo de ciclo de tostado. Es el tiempo que tarda el café en verde dentro del tambor de tostado en alcanzar una temperatura de 205 [°C], este tiempo es de 15 minutos con 45 segundos para la receta que utiliza Restaurantes Toks S.A de C.V, estas condiciones le dan sus propiedades de sabor, olor y color al grano de café. Durante este tiempo suceden los dos “crack”; el primero a los 180 [°C] y el segundo a los 200 [°C]. Durante este tiempo de ciclo de tostado se pierde del 12 – 23% de peso en el producto final y aumenta de 100 – 130 % en volumen el grano procesado. El lote de café tostado que se enfría debe de tener una temperatura final de aproximadamente 32 [°C] para poder ser almacenado y esperar que termine la desgasificación del producto final, este tiempo de espera es de no menos de 5 horas para garantizar que la humedad superficial del grano (el tueste que producen al final requiere un poco de agua para hidratar el grano) sea uniforme en todo este. De no cumplirse esto durante la molienda los rodillos no rompen el grano y este se fracciona en una forma de pequeñas laminas.

f) La etapa número seis “despedrador” (Figura. 34), funciona correctamente. Tras terminar el enfriamiento, el grano se vacía por la compuerta (C6) a la base de la despedadora, se cierra la compuerta de liberación de aire (C5) y se abre la compuerta de liberación del despedador (L5) para evitar flujos en retroceso. Ahora el ventilador, aspira el grano desde la base del despedador y se cierra manualmente la válvula de salida del despedador (V6), se puede observar en la Figura 13.



PROBATONE 60		
Dimensiones en mm aprox.	l	1.560
	b	variable ≥ 803
	h	2.790
Tubería de aire de escape en mm aprox.	Ø d ₆	DN 200
	h ₉	2.655
Recipiente de carga	h ₁₀	1.446
Peso de servicio en kg aprox.	Instalación despedadora	300

Figura. 34 – Diagrama y tabla de dimensiones de la despedadora

Los granos de café tostado al tener una menor densidad son aspirados (Figura. 35), las piedras y elementos más pesados son depositados en el recipiente recolector (R6), según se puede observar en la Figura 13.

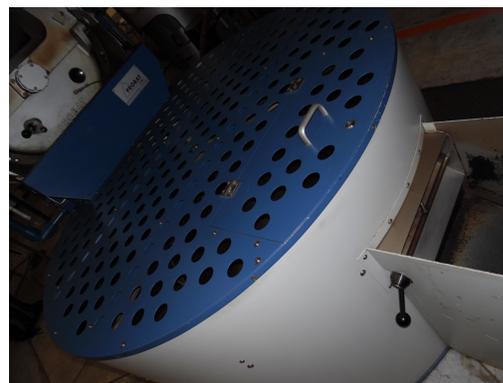


Figura. 35 – Ducto de succión de la despedadora y base del despedador

Los granos son aspirados hacia la tolva del despedrador, posteriormente estos granos que son el producto final, son depositados en contenedores (Figura. 36) para dejarlo reposar o desgasificar (proceso de producción interno), para posteriormente transportarlos a las áreas de molienda o destinos que sean requeridos.



Figura. 36 – Tolva del despedrador, contenedores para el vaciado y lotes para su procesamiento o disposición final

5 – Desarrollo

Después de que termine el análisis de las etapas de la línea de producción, le presente los resultados al Subgerente del área de SP para que verificara esta información, revisó los datos y los aceptó.

Posteriormente el Subgerente del área de SP le comento los resultados del diagnóstico al Gerente General, esto con la finalidad de que estuviera informado sobre el estatus del proyecto.

Con la información obtenida de la visita anterior, los resultados del diagnóstico y la información proporcionada por la empresa Probat (especificaciones técnicas de los equipos y ajustes iniciales de la línea de producción), agendé una cita con el jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V para acudir al comisariato a realizar los ajustes necesarios a la línea de producción de tostado de café (Figura. 37).



Figura. 37 – Información proporcionada por la empresa Probat

Durante el día 25 de enero del 2018 en las instalaciones del comisariato y con la ayuda del personal de mantenimiento de la empresa Restaurantes Toks S.A de C.V (Figura. 38), llevé a cabo las siguientes actividades para ajustar la línea de producción a los parámetros de puesta en marcha:



Figura. 38 – Revisando el ajuste de presiones de la flama del quemador

- Entregué al jefe de mantenimiento los documentos requeridos por el S.G.I de la empresa MYASA, posteriormente con los documentos autorizados inicié las actividades de revisión del equipo
- Solicité al jefe de mantenimiento que por seguridad del personal cortara el suministro de energía eléctrica, gas natural y agua a la línea de producción antes de iniciar las actividades de ajuste
- Coloqué los sistemas de seguridad que exige la norma 18001¹⁴
- Verifiqué que los equipos instalados en la línea, no hubieran sido remplazados por equipo fuera de las especificaciones de Probat:

○ Etapa uno – **alimentación del grano:**

- ✓ motor eléctrico (Figura. 39) 4.0 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 12 [A], 3480 [rpm]

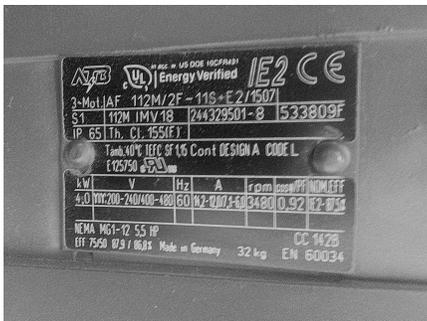


Figura. 39 – Placa de identificación del motor eléctrico de la aspiradora

○ Etapa dos – **tostado del grano:**

- ✓ motor eléctrico (Figura.40) 0.75 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 3.3 [A], 1710 [rpm]

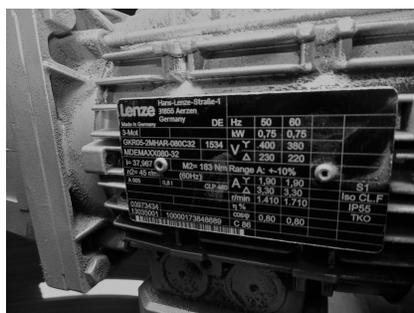


Figura. 40 – Placa de identificación del motor eléctrico del tambor

¹⁴ OHSAS 18001. Occupational Health and Safety Management Systems (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo), es una norma desarrollada para ayudar a las empresas a mejorar de forma continua la seguridad y la salud en las actividades laborales.

- ✓ quemador (Figura.41) 100 [kW], gas natural [20mBar]

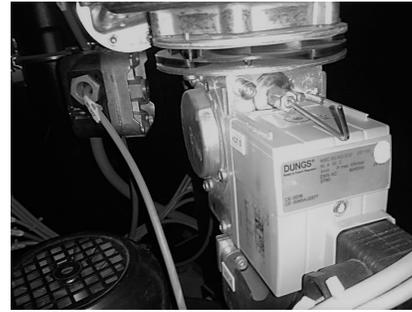
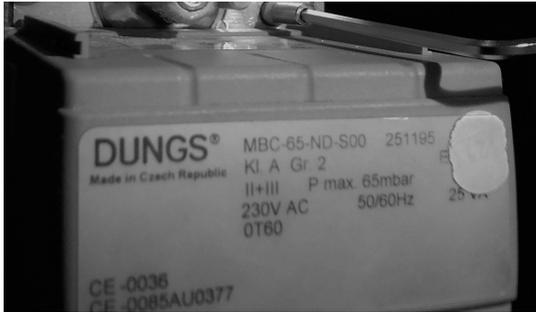


Figura. 41 – Placa de identificación del quemador del tambor

- Etapa tres – extracción de residuo:

- ✓ motor eléctrico (Figura. 42) 1.5 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 10 [A], 1740 [rpm]



Figura. 42 – Placa de identificación del motor eléctrico del extractor de pajilla

- Etapa cuatro – eliminación de residuos tóxicos:

- ✓ quemador (Figura. 43) 110 [kW], gas natural [300mBar]

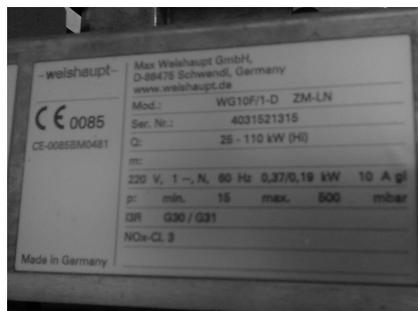


Figura. 43 – Placa de identificación del quemador del postquemador

○ Etapa cinco – enfriamiento del grano:

- ✓ motor eléctrico (Figura. 44) 4.0 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 13.4 [A], 3555 [rpm]

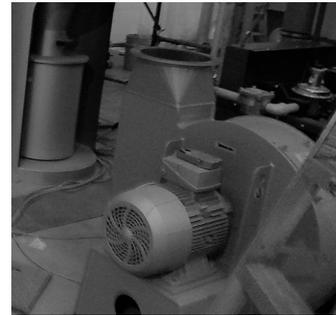


Figura. 44 – Placa de identificación del motor eléctrico del extractor de aire caliente

- ✓ motor eléctrico (Figura.45) 0.30 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 1.15 [A], 3100 [rpm]

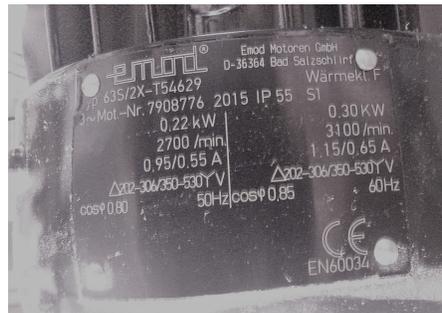


Figura. 45 – Placa de identificación del motor eléctrico del mecanismo agitador

○ Etapa seis – recolección del grano procesado:

- ✓ motor eléctrico (Figura. 46) 4.0 [kW], 200 – 240 [V], 60 [Hz], 13.4 [A], 3555 [rpm]



Figura. 46 – Placa de identificación del motor eléctrico del recolector de grano procesado

- Posteriormente corroboré el funcionamiento de cada equipo en forma independiente
- Revisé que los elementos mecánicos de los que está conformada la línea de tostado de café, estuvieran en óptimo funcionamiento (Figura. 47)

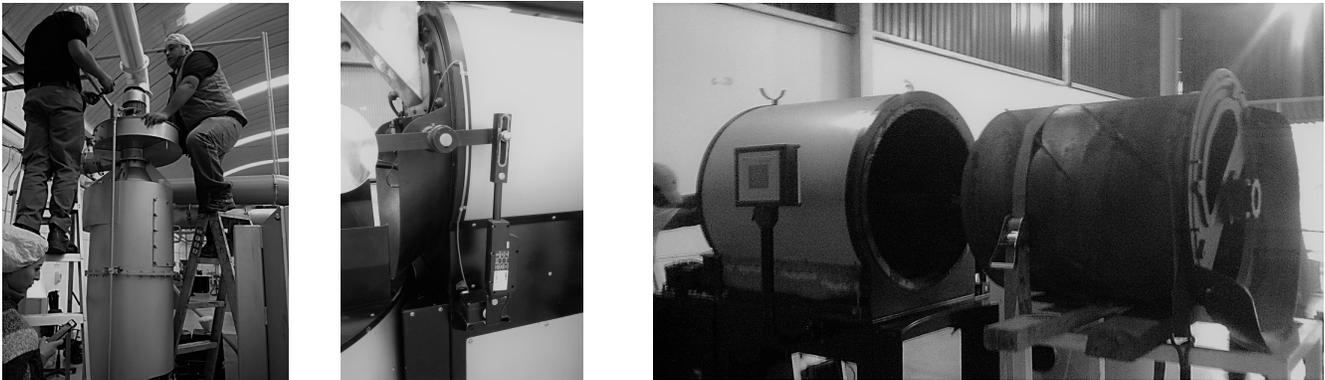


Figura. 47 – Revisión del mecanismo del tambor de tostado

- Comprobé con el software Pilot Roaster PC que los sensores con los que cuenta la línea funcionarían correctamente (Figura. 48)

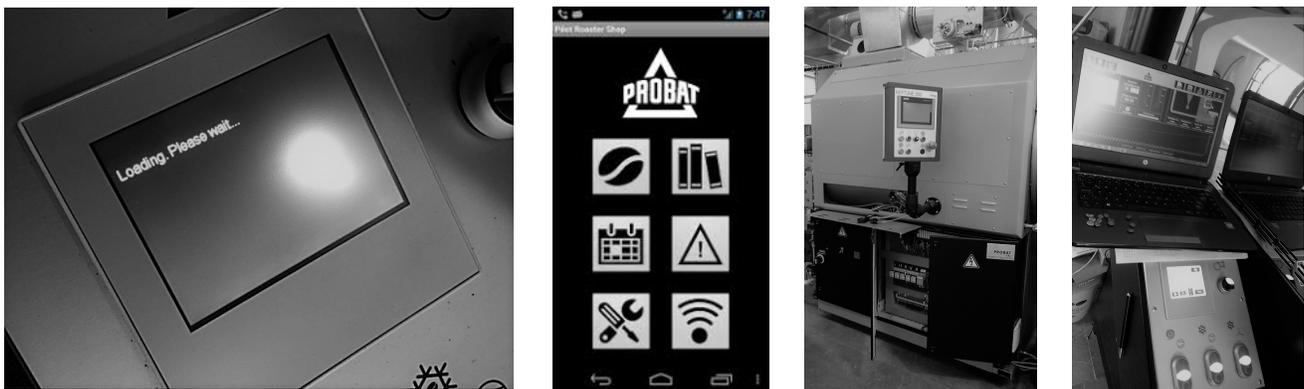


Figura. 48 – Pantalla de mando del tostador y conexión por red con una PC

- Después de que ajusté el equipo a los parámetros de puesta en marcha y de cerciorarme de que todos los equipos trabajaran correctamente, realicé la purga de la tubería de gas, posteriormente autoricé a los operadores de la línea de tostado de café a realizar pruebas en seco¹⁵
- Realicé tres pruebas de este tipo, con la ayuda de los operadores de la línea de tostado de café llegué a los resultados mostrados en la Tabla. 2

¹⁵ Pruebas en seco. Hace referencia a pruebas funcionales del equipo sin materia prima o producto a procesar.



Tabla 2 – Activación de las etapas durante el ciclo del proceso de tostado

	Funcionamiento del equipo por etapa					
	1	2	3	4	5	6
Alimentación del grano	√	√	√	√	√	√
Tostado del grano		√	√	√	√	√
Extracción de residuo			√	√	√	√
Eliminación de residuos				√	√	√
Enfriamiento del grano					√	
Recolección del grano						√

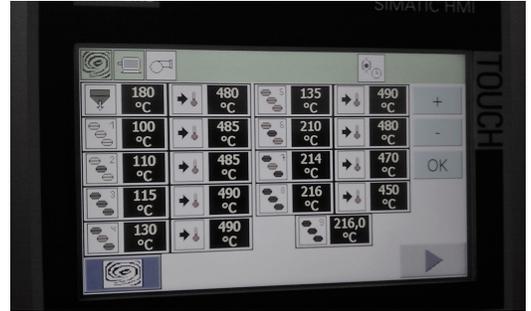
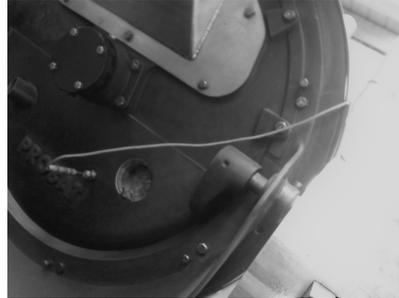
- ✓ Todas las etapas funcionan correctamente, el equipo puede operar varias etapas en forma simultánea sin problemas de paro de equipo

Después de realizar las pruebas en seco y obtener un resultado satisfactorio en todas ellas, solicité al personal del área de producción de Restaurantes Toks S.A de C.V café en verde para realizar pruebas con materia prima.

Antes de iniciar las pruebas, revisé los parámetros de las recetas para el tostado de café que utilizan en el comisariato, esto para evitar paros de la línea por alarmas de valores incongruentes en los parámetros.

Observé el comportamiento de la línea en operación normal (Figura. 49), con la carga máxima de 60 [kg], y determiné lo siguiente:

- El proceso se inició con la succión de café en verde en el tiempo establecido
- Se suministro el producto a procesar al tambor de tostado y observé en el monitor de control el decremento y posteriormente el aumento de la temperatura con el paso del tiempo del ciclo de tueste
- Durante el proceso de tostado, se activó: la recolección de residuo y la depuración de los gases generados por el proceso tostado de café
- Cuando la temperatura del tambor de tostado llegó a la indicada en los parámetros de la receta de Restaurantes Toks S.A de C.V, se vertió de forma automática el grano tostado en el contenedor de enfriamiento
- Se activó el mecanismo agitador, el ventilador de enfriamiento y las compuertas de aire durante el tiempo indicado para llegar a la temperatura de almacenaje de grano de 32 [°C]
- Después de 600 [seg] de enfriamiento el grano (producto final) fue succionado hacia la tolva del despedrador, donde el grano es dosificado en contenedores para su disposición final



4.3.1 Receta 1

Nombre de la receta	Tipo de café
Temperatura de llenado	Tiempo de tostado
1ª reducción	Tiempo de marca agitador al vaciar tostado
2ª reducción	Tiempo de enfriado
3ª reducción (final del tostado)	Tiempo de despedir

Aprobó (Si / No) Firma
Luis Ángel PALZ Morales



Figura. 49 – Pruebas con materia prima en el Probatone 60 con café en verde

Con base en los resultados de las pruebas realizadas con materia prima, el comportamiento de la línea durante las pruebas y al no presentarse la falla reportada:

“El equipo funciona correctamente al principio del ciclo de tostado, al iniciar el ciclo del postquemador comienza bien: enciende, aumenta la flama, hace un trabajo normal pero después de pocos segundos de estar trabajando se apaga de la nada, lo hemos tratado de encender nuevamente pero no reacciona el equipo de inmediato, hay que dejarlo reposar como una hora para volverlo a encender, pero repite la falla. Podrían venir ayudarnos a solucionar el problema porque tenemos la producción parada y tenemos el riesgo que pueda haber una explosión por la acumulación de gas porque huele mucho”

Tomé la decisión de autorizar la operación normal de la línea de producción de tostado de café. Durante el resto de la jornada laboral (6:00 am – 3:00 pm) del día 25 de enero del 2018.

Me retire de las instalaciones del comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V dejando la línea de producción en un óptimo funcionamiento (Figura. 50).



Figura. 50 – Equipo Probatone 60, funcionando correctamente

Notifique vía telefónica al Subgerente del área de SP sobre el terminó del servicio y los resultados obtenidos.

Sin embargo, el día 26 de enero del 2018 a las 9:00 am aproximadamente recibí una llamada del jefe de mantenimiento, notificándome que la línea se había deteniendo nuevamente por una alarma, al parecer estaba presentando el mismo problema y los ajustes que se realizaron un día antes no habían dado buenos resultados porque continuaba deteniéndose el equipo.

Notifiqué al Subgerente sobre esta inconformidad en el servicio que realicé, me dio la autorización de acudir de forma inmediata a solucionar el problema y observar que estuvieran operando correctamente el equipo.

Acudí ese día a las instalaciones del comisariato a revisar el equipo nuevamente y ha solucionar el problema que se pensó, estaba resuelto.

En las instalaciones del comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V, me platicó el jefe de mantenimiento sobre el problema que estaban teniendo:

“El equipo no funciona, enciende el quemador, pero se apaga por una alarma que aparece en el monitor y no la podemos eliminar, no sabemos si el equipo hace el ciclo completo porque se apaga”

Revisé las presiones: en los reguladores, en las líneas de gas natural, en la leva mecánica que regula el flujo de gas por etapa de calentamiento (Figura. 51) y no encontré problemas en estos elementos que hicieran que se apagara el quemador del equipo de la etapa dos.



Figura. 51 – Quemador y regulador de leva mecánica

Posteriormente comencé a validar nuevamente el equipo, encontré que en el display del postquemador parpadeaba un código **F CEh** (Figura. 52), cuando se lo reporte al jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V me comento: *“es la primera vez que aparece ese código”*

- Quemador Welshaupt **WG10F/1-D ZM—LN ; 4031521315**



Figura. 52 – Display del quemador de la etapa cuatro “postquemador”

En el manual de este equipo, existe un pequeño apartado sobre algunas alarmas que se pueden generar durante la operación, para esta alarma en particular, el manual describe el código como: **el equipo presenta un aumento en la presión y/o temperatura.**

Con esta información y con los datos obtenidos de las especificaciones técnicas de la línea de tostado, realicé un análisis (Figura. 53) para determinar si podía haber un aumento de presión, temperatura, el equipo se encontraba dañado o estaba fuera de parámetros de programación.

El equipo funcionaba correctamente y los parámetros en la programación eran los correctos, por lo cual deseche estas dos opciones como posibles condiciones por las que fallara el equipo. El resultado del análisis fue que había una obstrucción en alguna parte de la tubería de la línea de producción, la cual ocasionaba que el quemador se apagara y posiblemente era la causa por la que el postquemador mostraba esa alarma, y a raíz de esto se detuviera la línea de producción de tostado.

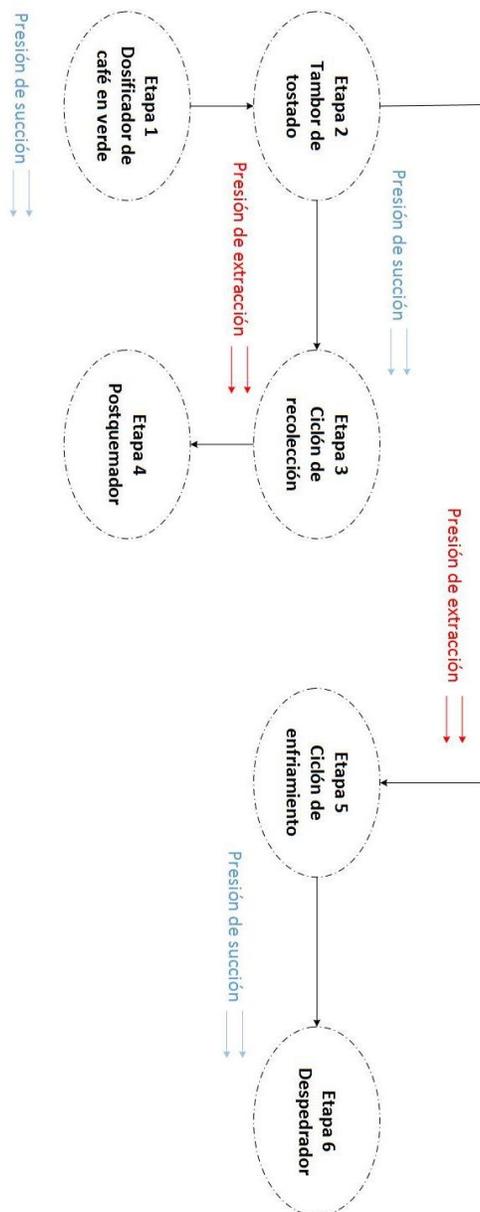


Figura. 53 – Diagrama de presiones en las etapas de la línea de tostado de café en verde

Le notifiqué al jefe de mantenimiento sobre esta hipótesis y las acciones que realizaríamos para verificar las tuberías de extracción.

5.1 Primera falla (encendido de la etapa dos)

A todo el equipo de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V le expliqué las actividades a realizar para encontrar en que sección de la tubería de la línea se generaba la obstrucción.

- Se realizó el desarmado de la tubería en las secciones de extracción ya que con el análisis anterior determiné que la obstrucción se encontraba en estas secciones (Figura. 54)



Figura. 54 – Desarmado de las tuberías por donde se realiza la succión

- Desarmada y seccionada la tubería, pude observar el desgaste de la malla que retiene los granos de café y las incrustaciones¹⁶ a lo largo de la tubería que se encuentra entre la etapa dos y tres (Figura. 55)



Figura. 55 – Incrustaciones en la tubería de la línea de tostado de café

¹⁶ Incrustaciones. Se generan a partir de la mezcla de la grasa que desprende el grano de café en el proceso de tostado con la ceniza generada por el proceso, esta mezcla se adhiere las paredes de los tubos solidificándose y evitando el libre tránsito de aire.

Este fue el problema por el que no encendía el quemador de la etapa dos:

Al reducirse el diámetro de la tubería por las incrustaciones, la cantidad de aire que extrae el equipo disminuye, dejando más aire en la sección del tostador, esto generaba que la presión aumentara dentro del tostador haciendo que el quemador se apagara por seguridad

Prepare una solución de agua con Hidróxido de Sodio¹⁷ al 30%, en esta solución se sumergió la tubería con incrustaciones y se dejó reposar durante 12 horas para remover estas incrustaciones (Figura. 56).

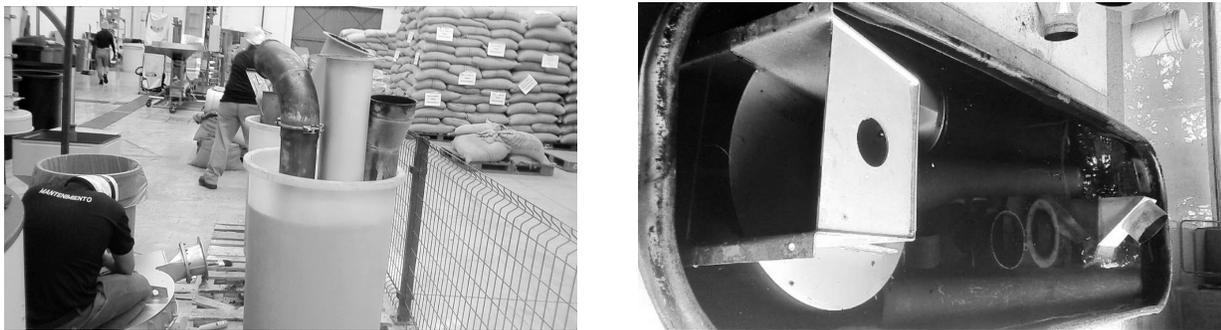


Figura. 56 – Tubería sumergida en solución de NaOH al 50%

Por experiencia en servicios anteriores:

“una concentración del 30% de sosa cáustica, ayuda a reblandecer las incrustaciones de la tubería sin oxidar esta, pero hay que dejarla sumergida por un periodo no menor a 12 horas”

Se necesitaron 150 [L] de agua para poder sumergir la tubería con incrustaciones, para determinar la cantidad de Hidróxido de Sodio necesario para esa concentración, realice los siguientes cálculos:

Concentración en soluciones % en masa – volumen

$$\% = (\text{masa del soluto} / \text{volumen del solvente}) (100)$$

$$30 = (\text{NaOH} / 150,000) (100)$$

$$\text{NaOH} = 45,000 [\text{gr}] \quad \text{ó} \quad \text{NaOH} = 45 [\text{kg}]$$

En la hoja de especificaciones del Hidróxido de Sodio en escamas (sólido) menciona que contiene un 97 % de concentración, para determinar la cantidad exacta de NaOH:

Concentración en soluciones % en masa – masa

¹⁷ Hidróxido de Sodio (NaOH). También conocido como sosa cáustica, cuando es diluida con agua libera calor y es altamente corrosiva en altas concentraciones, ideal para reblandecer las incrustaciones generadas por el proceso de tostado de café en verde.

$$\% = (masa\ del\ soluto / masa\ total) (100)$$

$$97 = (45 / masa\ total) (100)$$

$$masa\ total\ de\ NaOH = 46.39 [kg]$$

Por la tanto necesité mezclar 46.39 [kg] de NaOH en 150 [L] de H₂O para obtener una disolución al 30%.

El día 27 de enero del 2018, después de transcurrir las 12 horas, el personal de mantenimiento le retiró¹⁸ las incrustaciones a la tubería, la enjuagó y la volvió a armar (Figura. 57).



Figura. 57 – Armado de la tubería de extracción después de la limpieza con una disolución de NaOH al 30%

Después de armar la tubería de extracción de la etapa dos, di la instrucción al personal operativo de realizar una serie de pruebas para valorar el funcionamiento del equipo, durante estas pruebas de arranque ajusté la corredera de succión a modo de obtener una presión de succión de 22 [mmH₂O] en la tubería de extracción de los gases de la combustión y de pajilla (Figura. 58).



Figura. 58 – Ajuste de presión de succión en la tubería que conecta la etapa dos con la etapa

Con estas acciones la etapa dos funciono correctamente y corregí uno de los problemas por los cuales no funcionaba la línea de tostado de café correctamente.

¹⁸ Para retirar las incrustaciones de la tubería después de estar sumergidas en la disolución, es necesario desprenderlas con la ayuda de cuñas metálicas y raspadores para retirar toda la suciedad adherida a la tubería.

5.2 Segunda falla (encendido de la etapa cuatro)

Durante las pruebas observé que la falla del postquemador seguía en el display de este equipo **F CEh**, se estaba generando un aumento de presión o temperatura dentro de la recámara de postcombustión (Figura. 58).



Figura. 58 – Postquemador con catalizador, etapa cuatro

Inspeccioné la tubería de salida de la etapa cuatro (chimenea en la azotea), no presentaba incrustaciones u obstrucciones (Figura. 59) visibles. La temperatura de los gases a la salida del catalizador es de 600 [°C] aproximadamente, la pérdida de temperatura con el medio ambiente y las paredes de la tubería: la temperatura de los gases en la descarga al medio ambiente es de aproximadamente 250 [°C].

La temperatura de la tubería de aire caliente aproximadamente se encuentra a 70 [°C], comprobé esta temperatura con el pirómetro digital¹⁹, la lectura fue de 36 [°C], esta temperatura inferior implica que no estaba saliendo todo el gasto volumétrico de los gases calientes o no estaban alcanzando la temperatura de servicio a la entrada del catalizador.

Revisé la temperatura de los gases a la entrada del catalizador y esta era de 450 [°C], temperatura de funcionamiento del catalizador. Si la temperatura de los gases a la entrada del catalizador es menor de 400 [°C], no se lleva a cabo el proceso de depuración de los gases contaminantes y se incumple la normatividad medioambiental.

Con lo observado formulé la hipótesis: *“existe una obstrucción en la tubería; no está pasando todo el flujo volumétrico porque no se eleva la temperatura de la tubería de salida de los gases calientes”*.

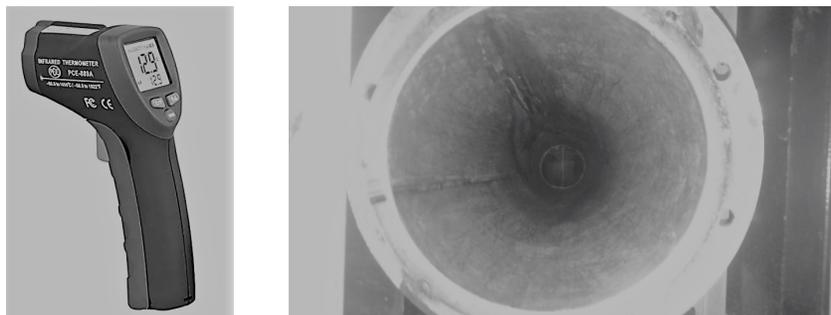


Figura. 59 – Pirómetro PCE-889A: rango de temperatura -50 a 1050 [°C] y tubería de salida de gases sin obstrucciones visibles

Para corroborar mi hipótesis, instalé a la salida una sección de tubería con válvula de paso de esfera para medir con un caudalímetro²⁰ el flujo de los gases calientes (Figura. 60).

El software Pilot Roaster PC mide la cantidad de flujo volumétrico que entra al postquemador, este valor es de 138 [m³/h].

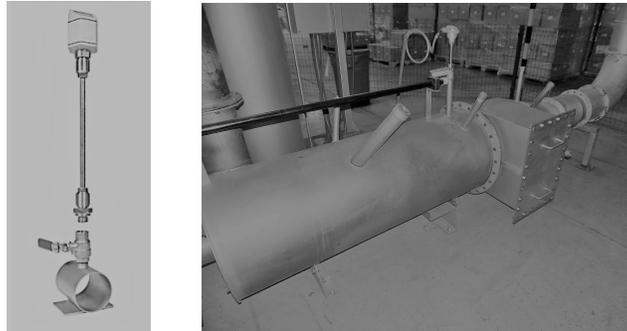


Figura. 60 – Caudalímetro FS-109: rango de temperatura de servicio de -30 a 190 °C

Con el caudalímetro medí la cantidad de flujo de salida en la tubería, esta era menor en un 50% aproximadamente (73 [m³/h]). Con la información de reducción de flujo volumétrico de los gases calientes a la salida de la tubería y la disminución de la temperatura en la misma, concluí que:

- ✓ El aire no fluía correctamente y esto generaba el aumento de presión dentro de la recámara del postquemador, activando la alarma y deteniendo el equipo por seguridad.

El manual técnico del postquemador menciona que el gradiente de presión entre la salida y la entrada del catalizador no debe ser mayor a 0.5 [mBar] y que la temperatura dentro de la recámara del postquemador no sea mayor a 630 [°C], de lo contrario el quemador genera una alarma y se apaga el equipo por seguridad (Figura. 61).

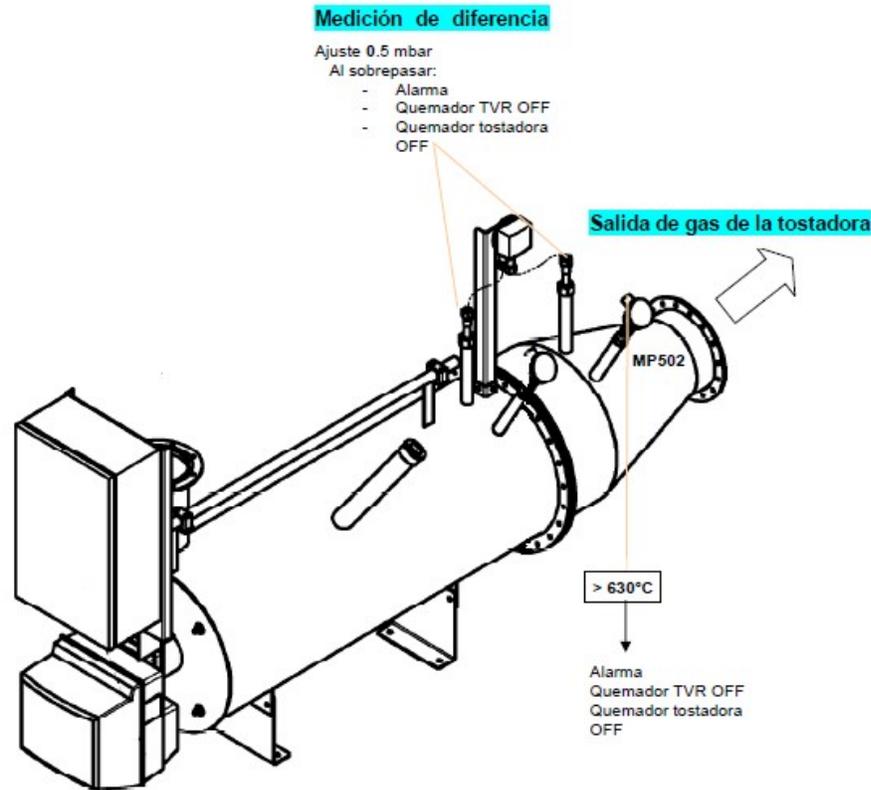
Descarte la falla por aumento de temperatura porque el termómetro del postquemador nunca excedió la temperatura máxima durante las pruebas, por lo tanto, la alarma era generada por aumento de presión.

La tubería no mostró obstrucciones por incrustaciones, pero existía un aumento de presión dentro del equipo, ocasionando que se detuviera la línea de tostado de café.

Analizando el problema, tuve la idea: *“es posible que el aire frío (posiblemente más denso) no deje salir a los gases calientes, porque no existe extractor en la tubería y esta tiene un tiro en vertical muy largo”*.

¹⁹ Pirómetro digital. Instrumento de medida, para la medición de temperatura de una porción de superficie de un objeto. Este método permite la temperatura de forma remota.

²⁰ Caudalímetro. Instrumento de medida, para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. Estos instrumentos se colocan en línea paralela con la tubería que transporta el fluido.



Propuesta de solución

Pensé que esta idea podía ser posible porque hubo temperaturas muy bajas en esas fechas.

Esta nueva hipótesis: “*El flujo de aire frío al encontrarse con el flujo de aire caliente generan una especie de retén dentro de la tubería limitando el gasto volumétrico de los gases calientes a la salida, generando un aumento de presión dentro del equipo*”, presente la propuesta al jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V, la cual le pareció acertada y me dio la oportunidad de fundamentarla.

Reuní información climatológica en la página de internet de la **Comisión Nacional del Agua**, existe una gaceta mensual de las condiciones climatológicas de la Ciudad de México. En esta gaceta hay un apartado en donde se muestran los días del mes de enero del 2018 (Figura. 62) en los que se presentaron frentes fríos²¹.

²¹ Frente frío. Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo desplazando el aire caliente lo cual provoca la formación de un sistema de nubes que generan chubascos o nevadas si es que la temperatura es muy baja, durante el desplazamiento de la masa de aire caliente se generan descensos rápidos en la temperatura de la región por donde pasa.

En la gaceta²² **Reporte del Clima en México** impresa por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, los frentes fríos que afectaron a la Ciudad de México durante el mes de enero del año 2018 fueron:

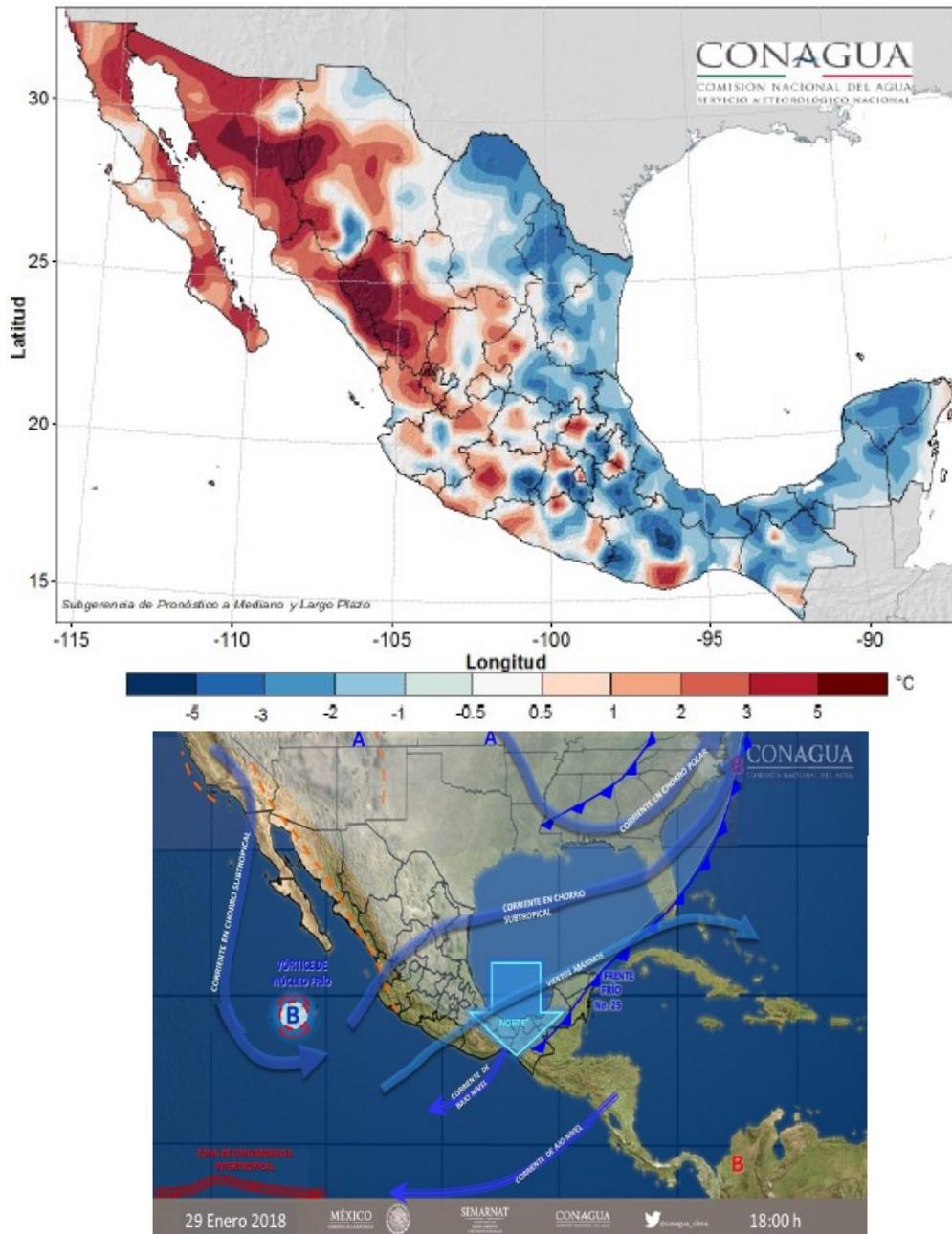


Figura. 62 – Anomalía de temperatura en enero del 2018 según el Sistema de Información Hidroclimatológica (SIH)

²² Gaceta. Publicación periódica que contiene información sobre noticias administrativas, literarias, comerciales o de un tema en específico.



- Frente frío número 20 (31 de diciembre – 2 de enero). La temperatura promedio en el Centro de México fue de 6.0 [°C] a las 6:40 hrs
- Frente frío número 21 (8 de enero – 13 de enero). La temperatura promedio en el Centro de México fue de 8.0 [°C] a las 5:13 hrs
- Frente frío número 22 (13 de enero – 18 de enero). La temperatura promedio en el Centro de México fue de 2.0 [°C] a las 5:46 hrs
- Frente frío número 23 (20 de enero – 25 de enero). La temperatura promedio en el Centro de México fue de 4.4 [°C] a las 5:52 hrs
- Frente frío número 24 (24 de enero – 31 de enero). La temperatura promedio en el Centro de México fue de 1.5 [°C] a las 4:50 hrs

En la Tabla 3 se muestra la temperatura mínima que se registró durante el mes de enero del 2018 en la Ciudad de México y demás estados de la República Mexicana.

Tabla 3 – Temperaturas mínimas extremas a nivel estatal en enero del 2018 (SIH)

<i>EDO</i>	<i>TMIN</i>	<i>ESTACIÓN</i>	<i>DÍA</i>	<i>EDO</i>	<i>TMIN</i>	<i>ESTACIÓN</i>	<i>DÍA</i>
AGS	-8.0	Calvillito	14	MOR	0.0	Hueyapan	14,15
BC	-5.5	Agua Hechicera	27	NAY	5.5	Ixtlán del Río	21
BCS	1.0	Díaz Ordaz	26	NL	-6.0	Cerralvo	3
CAMP	9.0	Hechelchakán	5	OAX	-4.0	San Antonio Cuajimoloyas	14
CHIH	-12.5	El Vergel	25	PUE	-7.5	Alchichica	13
CHIS	-1.0	Observatorio San Cristóbal*	11	QRO	-4.0	San Ildefonso	15
COAH	-7.0	Aeropuerto de Ramos Arizpe	17	QROO	10.3	Chetumal Observatorio	14
COL	11.0	La Esperanza	22	SIN	2.0	Badiraguato	23
CDMX	-2.5	Gran Canal	18	SLP	-4.0	Valentín Gama	7
DGO	-17.0	La Rosilla	22	SON	-10.0	Yécora	26
GRO	4.0	Ixcateopan de Tlapa	17	TAB	13.0	San Joaquín	16,17
GTO	-6.0	La Quemada	15	TAMS	-4.0	Corona	4
HGO	-5.0	Taxhimay	15	TLAX	-9.0	Calpulalpan	14
JAL	-6.0	San Gaspar de los Reyes	13	VER	-12.0	Zalayeta	13
MEX	-10.0	Presa Huapango	15	YUC	5.0	Tantakin	5
MICH	-5.0	El Gigante	15	ZAC	-9.0	El Saladillo	15

Con el jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V revisé las fechas de años anteriores en las que reportaron una falla similar de apagado en el quemador de la etapa cuatro o de la etapa dos, estas fechas las comparé los datos de la Tabla 4.

Tabla 4 – Días en los que se presentaron frentes fríos en la Ciudad de México

Año	Frentes fríos, mes de enero																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2016	√	√	√	√				√	√	√	√	√	√								√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2017	√	√	√	√	√		√	√	√				√	√	√		√	√	√		√	√	√	√				√	√	√	√	√
2018	√	√						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Las fechas de los frentes fríos en la Ciudad de México coincidieron con los días en los que se detuvo la línea de tostado de café, con esta información, la hipótesis formulada anteriormente comenzó a ser sólida. Por lo anterior concluí: *“las disminuciones en la temperatura ambiental afectan directamente al equipo, motivo por el cual se detenía la línea de producción”*.

Con esta información, le propuse dos soluciones al jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V para corregir la falla:

- 1) Colocar un sistema de extracción para ayudar a salir a los gases
- 2) Recortar el tubo para evitar el tapón que se generaba entre el aire frío y caliente

La primera propuesta contemplaba un tiempo de espera de 8 semanas por el periodo de importación del equipo necesario. Por rapidez en la solución del problema, decidieron llevar a cabo la segunda propuesta.

Para la segunda propuesta determine la altura de la tubería necesaria (Figura. 63) para que los gases calientes salieran sin la necesidad del sistema de extracción, para esto realicé los siguientes cálculos:

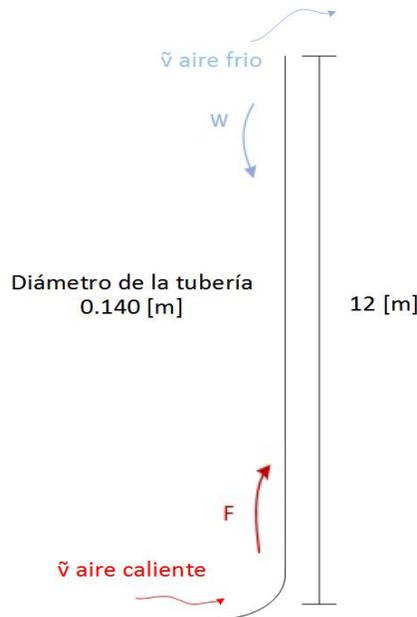


Figura. 63 – Esquema de gastos volumétricos para el aire frío y caliente a la salida de la etapa cuatro



El diámetro interno de la tubería de la salida del aire caliente es de 20 [cm], el cual no tiene reducciones

$$g_{cdmx} = 9.78 \text{ [m/seg}^2\text{]} \quad , \quad \phi_1 = 0.20 \text{ [m]} \quad , \quad \phi_2 = 0.20 \text{ [m]}$$

Con el dato de flujo volumétrico que obtuve del software Pilot Roaster PC, determiné la velocidad del aire en el punto uno de la Figura 63

$$\tilde{v} = A (v) \quad ; \quad v_1 = \tilde{v}_1 / (A_1) \quad , \quad \tilde{v}_1 = 138 \text{ [m}^3\text{/ h]} \quad , \quad \tilde{v}_2 = 73 \text{ [m}^3\text{/ h]}$$

$$v_1 = 0.0383 / ((\pi)(0.10)^2)$$

$$v_1 = 1.220 \text{ [m/seg]}$$

Con el dato de flujo volumétrico que obtuve con el caudalímetro, determiné la velocidad del aire en el punto dos de la Figura 63

$$v_2 = 0.0203 / (\pi(0.10)^2)$$

$$v_2 = 0.645 \text{ [m/seg]}$$

Aunque no existe una reducción del área de la tubería, la velocidad del flujo de aire caliente disminuyó a la mitad aproximadamente. La presión y la velocidad tienen una relación inversamente proporcional y cumplen con las siguientes dos condiciones:

- 1) Si la presión en el sistema aumenta, la velocidad dentro de la tubería disminuye
- 2) Si la presión en el sistema disminuye, la velocidad dentro de la tubería aumenta

Los gases calientes que salen al medio ambiente después del proceso de reducción y oxidación catalítica son: nitrógeno [N₂], dióxido de carbono [CO₂], oxígeno [O₂] y vapor de agua [H₂O]. La composición del aire se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 – Composición de los gases calientes de salida y del aire ambiental

Gases	Aire caliente	Gases calientes
Nitrógeno	78.00	76.00
Oxígeno	21.00	13.00
Dióxido de carbono	0.10	5.00
Vapor de agua	0.00	5.00
Otros gases	0.90	1.00

Para los cálculos consideré las propiedades de aire atmosférico, como las propiedades de los gases calientes a la salida de la etapa cuatro, debido a la similitud en su composición: idealicé el comportamiento de los gases calientes como aire caliente.

Por las alarmas que generaba el equipo de la etapa cuatro, considere: “está sucediendo la primera condición de la relación entre presión y velocidad dentro de la tubería.

Para analizar flujos dentro de tuberías se utiliza la ecuación de Bernoulli solamente para flujos incompresibles.

El fluido dentro de la tubería es aire caliente, considerado fluido compresible. Existe una consideración basada en el número de Mach²³ para utilizar las ecuaciones de flujo incompresible en un flujo compresible, esto para facilitar el uso de los cálculos, ya que los resultados presentan una variación mínima.

En la siguiente grafica (Figura. 64) se muestra la variación de la velocidad con respecto al número de Mach y se pueden observar las siguientes condiciones:

- Se considera flujo incompresible $M < 0.3$
- Se considera flujo compresible subsónico $0.3 \leq M < 1.0$
- Se considera flujo transónico $M = 1.0$
- Se considera flujo supersónico $1.0 < M \leq 3.0$
- Se considera flujo hipersónico $3.0 < M$

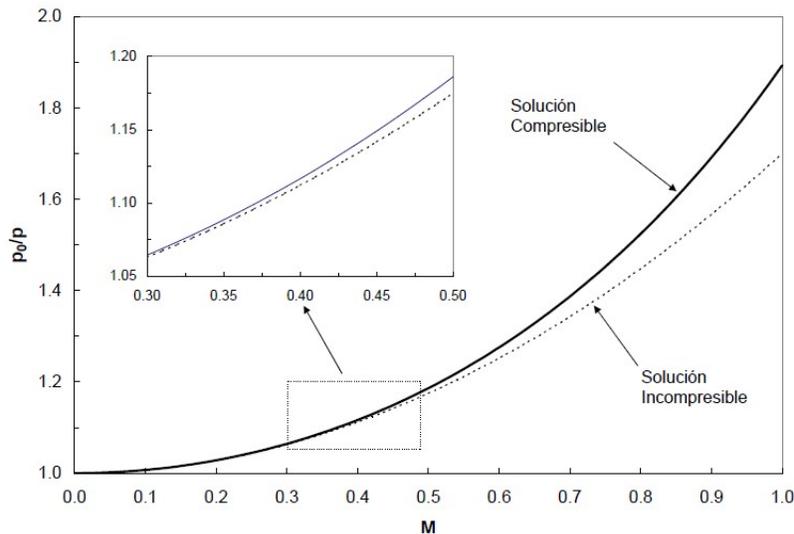


Figura. 64 – Efecto del número de Mach en la variación de presión para un flujo compresible e incompresible

Utilicé la ecuación de Mach para determinar el tipo de flujo (aire caliente) dentro de la tubería

$$M = v / c$$

$$c = \left(\frac{\gamma (P_{atm-cdmx})}{\rho_{aire-cdmx}} \right)^{1/2} ; \quad \gamma = C_p / C_v ; \quad \check{R} = C_p - C_v ; \quad \check{R} = R / n$$

²³ Número de Mach. Es un número adimensional definido como la razón entre velocidad del flujo (v) y la velocidad local del sonido en el gas (c), esta es la velocidad con que se propaga una onda de presión a través de un fluido.



Para el aire atmosférico se tienen las siguientes propiedades:

$$R = 8.314 \text{ [J/mol K]} \quad , \quad n = 0.029 \text{ [kg/mol]}$$

En tablas termodinámicas²⁴, obtuve los datos de la densidad, viscosidad cinemática y calor específico del aire a las condiciones de salida 600 [°C]

$$\rho_{\text{aire-cdmx}} = 0.404 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad , \quad \nu_{\text{aire-cdmx}} = 9.515 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/seg]} \quad , \quad C_{P \text{ aire-cdmx}} = 1115 \text{ [J/kg K]}$$

$$P_{\text{atm-cdmx}} = 77993.604 \text{ [Pa]}$$

Sustituyendo los datos en las ecuaciones para determinar el tipo de flujo de aire caliente dentro de la tubería

$$\check{R} = 8.314 / 0.029$$

$$\check{R} = 286.689 \text{ [J/kg K]}$$

$$C_v = 1115 - 286.689$$

$$C_v = 828.311 \text{ [J/kg K]}$$

$$\gamma = 1115 / 828.311$$

$$\gamma = 1.346$$

$$c = (((1.346)(77993.604)) / 0.404)^{1/2}$$

$$c = 509.776 \text{ [m/seg]}$$

$$M = 1.220 / 509.776$$

$$M = 0.002$$

El resultado del número de Mach para el aire caliente es menor a 0.300 por lo tanto, el fluido se puede considerar como incompresible.

De la Figura 64 se puede observar: “el resultado compresible tiene una variación no mayor al 2% con respecto al resultado incompresible”. Al considerar el fluido (aire caliente) como incompresible dentro de una tubería de sección circular, determiné el número de Reynolds²⁵ para saber el tipo de flujo que se desarrollaba:

²⁴ Tablas termodinámicas. Se utilizan para determinar las propiedades de las sustancias, como pueden ser: densidad, presión, temperatura, entalpía.

$$Re = ((v)(\phi)) / \nu$$

$$Re = ((1.220)(0.20)) / 9.515 \times 10^{-5}$$

$$Re = 2564.372$$

Para el número de Reynolds obtenido el comportamiento del flujo está en transición (Figura. 65), se comienza a generar un flujo turbulento (movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional), esto puede ser una de las posibles razones por la que el flujo volumétrico de aire caliente decaiga a la salida.

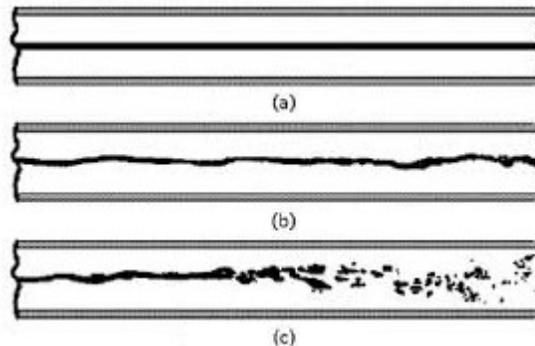


Figura. 65 – Perfiles de (a) flujo laminar, (b) flujo en transición, (c) Flujo turbulento

Al ser un fluido incompresible, utilicé la ecuación de Bernoulli para determinar la presión que generaba el aire caliente a la entrada de la tubería

$$P_1 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_1)^2 + ((\rho)(g)(h_1)) = P_2 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_2)^2 + ((\rho)(g)(h_2))$$

Considere la presión manométrica a la salida del catalizador como P_1 (Figura. 63), este dato se muestra en las especificaciones técnicas del equipo. La altura del punto uno es cero porque se encuentra en el origen del sistema analizado

$$P_1 = 13 \text{ [mmH}_2\text{O]} \quad ; \quad 1 \text{ [mmH}_2\text{O]} = 9.806 \text{ [Pa]}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación de Bernoulli:

$$P_2 = P_1 + ((\frac{1}{2})(\rho_{\text{aire-cdmx}})((v_1)^2 - (v_2)^2)) + ((\rho_{\text{aire-cdmx}})(g_{\text{cdmx}})(h_1 - h_2))$$

$$P_2 = 127.486 + ((\frac{1}{2})(0.404)((1.220)^2 - (0.645)^2)) + ((0.404)(9.78)(0 - h_2))$$

²⁵ Número de Reynolds. Número adimensional utilizado para caracterizar el movimiento de un fluido, está definido por la relación entre las fuerzas convectivas y fuerzas viscosas de un fluido. Para un flujo dentro de una tubería circular:

- $Re < 2000$ flujo laminar
- $Re > 2000$ pero $Re < 4000$ flujo en transición
- $Re > 4000$ flujo turbulento



$$P_2 = 127.486 + 0.216 - 3.951 (h_2)$$

$$P_2 = 127.702 - 3.951 (h_2)$$

Con esta ecuación realicé la Tabla 6 en donde se puede observar la relación entre la altura y la presión que genera el aire caliente dentro de la tubería

Tabla 6 – Presión que ejerce el aire caliente conforme va aumentando la altura de la tubería

Columna de aire caliente ▲	
Altura [m]	Presión [Pa]
0	127.702
1	123.751
2	119.800
3	115.849
4	111.898
5	107.947
6	103.996
7	100.045
8	96.094
9	92.143
10	88.192
11	84.241
12	80.290

La presión máxima que generaba el aire caliente era a la salida del catalizador, en este punto comienza el tiro en vertical de la tubería. Calculé la fuerza que generaba el aire caliente en este punto, ya que al inicio del día la tubería se encuentra saturada de aire frío.

La tubería tiene una sección de área transversal constante, por lo tanto, donde se encuentra la mayor presión, está el mayor esfuerzo

$$P = F / A \quad ; \quad P_{\text{maxima}} = 127.702 \text{ [N]} \quad , \quad \phi_1 = 0.20 \text{ [m]}$$

$$F_{\text{aire-cdmx}} = 127.702 ((\pi)(0.10)^2)$$

$$F_{\text{aire-cdmx}} = 4.012 \text{ [N]}$$

Con la P_{maxima} , la altura de la columna máxima que alcanza el fluido es de 32 [m], sin obstrucciones.



La fuerza que genera el flujo de aire caliente va disminuyendo a lo largo de la tubería, debido a la rugosidad del material y a los elementos de unión, esta pérdida se determina con la ecuación de Darcy²⁶.

La ecuación de Darcy está en función del número de Reynolds y la rugosidad de la tubería. Esta ecuación da como resultado la pérdida local o total en la tubería y accesorios de unión

$$h_f = (f)(L / \phi)(v^2 / 2g)$$

$$v_1 = 1.220 \text{ [m/seg]} \quad , \quad Re = 2564.372 \quad , \quad g_{cdmx} = 9.78 \text{ [m/seg}^2\text{]} \quad , \quad L = 12 \text{ [m]}$$

El flujo esta transición por lo que utilicé la interpolación cubica de Dunlop²⁷ para calcular el coeficiente de fricción para la ecuación de Darcy

$$f = X_1 + ((R)(X_2 + (R)(X_3 + X_4)))$$

En donde:

$$X_1 = ((7)(Fa)) - Fb \quad ; \quad X_2 = 0.128 - ((17)(Fa)) + ((2.5)(Fb))$$

$$X_3 = -0.128 + ((13)(Fa)) - ((2)(Fb)) \quad ; \quad X_4 = (R)(0.032 - ((3)(Fa)) + ((0.5)(Fb)))$$

$$R = Re / 2000$$

$$Fa = (Y_3)^{-2} \quad ; \quad Fb = (Fa)(2 - (0.00514215 / ((Y_2)(Y_3))))$$

$$Y_2 = (\epsilon / ((3.7)(\phi))) + (5.74 / (Re)^{0.9}) \quad ; \quad Y_3 = -2 (\text{Log} ((\epsilon / ((3.7)(\phi_{int}))) + (5.74 / (4000)^{0.9})))$$

De las especificaciones del fabricante el tubo de acero tiene una rugosidad relativa

$$\epsilon = 4.5 \times 10^{-5} \text{ [m]}$$

Sustituyendo los datos en las relaciones de la interpolación cubica

$$Y_2 = ((0.000045) / ((3.7)(0.20))) + (5.74 / (2564.372)^{0.9})$$

$$Y_2 = 6.081 \times 10^{-5} + 4.907 \times 10^{-3}$$

$$Y_2 = 4.967 \times 10^{-3}$$

²⁶ Ecuación de Darcy. Es una ecuación que permite la evaluación de cada uno de los factores que repercuten en la pérdida de energía en la tubería. Esta formula se puede aplicar a todo tipo de flujo: lamiar, transitorio o turbulento.

²⁷ Interpolación cubica. También conocida como "spline cubico" se utiliza en los problemas de interpolación haciendo uso de polinomios de bajo grado evitando así las oscilaciones.



$$Y_3 = -2 (\text{Log } (((0.000045) / ((3.7)(0.20))) + (5.74 / (4000)^{0.9})))$$

$$Y_3 = -2 (\text{Log } (6.081 \times 10^{-5} + 3.288 \times 10^{-3}))$$

$$Y_3 = 4.949$$

$$Fa = (4.949)^2$$

$$Fa = 0.041$$

$$Fb = (0.041)(2 - (0.00514215 / ((4.967 \times 10^{-3})(4.949))))$$

$$Fb = (0.041)(2 - (0.209))$$

$$Fb = 0.073$$

$$R = 2564.372 / 2000$$

$$R = 1.282$$

$$X_1 = ((7)(0.041)) - 0.073$$

$$X_1 = 0.212$$

$$X_2 = 0.128 - ((17)(0.041)) + ((2.5)(0.073))$$

$$X_2 = -0.383$$

$$X_3 = -0.128 + ((13)(0.041)) - ((2)(0.073))$$

$$X_3 = 0.256$$

$$X_4 = (1.282)(0.032 - ((3)(0.041)) + ((0.5)(0.073)))$$

$$X_4 = -0.069$$

Sustituyendo los valores de las relaciones en la ecuación de interpolación cubica

$$f = 0.212 + ((1.282)((-0.383) + (1.282)(0.256 + (-0.069))))$$

$$f = 0.029$$

Sustituyendo el coeficiente de fricción en la ecuación de Darcy



$$h_f = (0.029)(12 / 0.20) ((1.220)^2 / (2(9.78)))$$

$$h_f = (0.029)(60)(.0761)$$

$$h_f = 0.133 \text{ [m]}$$

Este valor de h_f es la pérdida total relacionada a lo largo de la tubería

También existe pérdida de energía en los accesorios h_s de los que está compuesta la tubería, para esta sección sólo tiene un codo de 90° de doble radio o radio largo de 20 [cm] de diámetro (aproximadamente 8 pulgadas).

De la Tabla 7 obtuve el coeficiente de pérdida K_s para calcular la pérdida de carga por el accesorio

Tabla 7 – Coeficiente de pérdida en accesorios

diámetro (pulg.)	Roscado o soldado				Con brida				
	½"	1"	2"	4"	1"	2"	4"	8"	20"
válvulas (totalmente abierta)									
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.25	0.16	0.07	0.03
Retención de disco									
oscilante	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos									
45° estándar	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° radio largo					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° radio largo	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° radio largo					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

$$h_s = (K_s)(v^2 / 2g)$$

$$h_s = (0.150) ((1.220)^2 / (2(9.78)))$$

$$h_s = 0.011 \text{ [m]}$$

Este valor es la pérdida relacionada al accesorio de la tubería. Para obtener la pérdida de energía total en la tubería

$$H = h_f + h_s$$

$$H = 0.133 + 0.011 \quad ; \quad H = 0.144 \text{ [m]}$$

Es la pérdida de energía total generada por la rugosidad del material y los accesorios de los que está compuesta



Este resultado significa: el flujo tiene una caída de presión de 0.114 [m] dentro de la tubería.

Con respecto a la altura de la columna de fluido que da la P_{maxima} , esta cantidad representa aproximadamente el 0.5% de la altura total del fluido dentro de la tubería. Esta caída de presión al ser muy pequeña la considere como despreciable.

El día 27 de enero del 2018 se presentó una temperatura mínima en la Ciudad de México, utilice ese dato en las ecuaciones para el análisis de falla.

Con los datos de temperatura de la Ciudad de México (Figura.66) que obtuve de la Comisión Nacional del Agua, determiné el valor de la densidad del aire a esas condiciones

Resumen de datos para el 27 de Enero de 2018:					
● Temperatura Máxima	18 °C	22:41	● Temperatura Mínima	-1 °C	03:46
● Humedad máxima	80.0 %	13:46	● Humedad mínima	12.8 %	22:41

Figura. 66 – Condiciones de temperatura y humedad relativa, obtenidos de la página de CONAGUA

En tablas termodinámicas, obtuve los datos de la densidad del aire a las condiciones indicadas

A la temperatura de -10 °C la densidad es de 1.341 [kg/m³]

A la temperatura de 0 °C la densidad es de 1.292 [kg/m³]

Interpolando los valores para obtener la densidad a la temperatura deseada:

$$y_0 = y_1 + (((x_0 - x_1) / (x_2 - x_1))(y_2 - y_1))$$

$$y_0 = 1.341 + (((-1 - (-10)) / (0 - (-10)))(1.292 - 1.341))$$

$$y_0 = 1.341 + (-0.044)$$

$$y_0 = 1.297 \text{ [kg / m}^3\text{]} \quad : \quad \rho_{\text{aire-cdmx}} = 1.297 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Para determinar la presión que generaba la columna de aire frío dentro de la tubería, utilicé la ecuación de Bernoulli pero sólo la parte de la energía potencial porque no hay velocidad de este flujo:

$$P_1 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_1)^2 + ((\rho)(g)(h_1)) = P_2 + ((\frac{1}{2})(\rho)(v_2)^2 + ((\rho)(g)(h_2)) \quad ; \quad v_1 = 0 \text{ [m/seg]} \quad , \quad v_2 = v_1$$



Utilizando el sistema de referencia de la Figura 63, consideramos la P_2 como cero porque el sistema está abierto y sólo calculé la presión manométrica:

$$\rho_{\text{aire-cdmx}} = 1.297 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad , \quad g_{\text{cdmx}} = 9.78 \text{ [m/seg}^2\text{]} \quad , \quad P_2 = 0 \text{ [Pa]}$$

$$P_1 + ((\rho_{\text{aire-cdmx}})(g_{\text{cdmx}})(h_1)) = P_2 + ((\rho_{\text{aire-cdmx}})(g_{\text{cdmx}})(h_2))$$

$$P_1 = P_2 + ((\rho_{\text{aire-cdmx}})(g_{\text{cdmx}})(h_2 - h_1))$$

$$P_1 = 0 + ((1.297)(9.78)(12 - h_1))$$

$$P_1 = 152.216 - 12.685 (h_1)$$

Con esta ecuación realicé la Tabla 7 en donde se puede observar la relación entre la presión y la altura que genera el aire caliente dentro de la tubería

Tabla 7– Presión que ejerce el aire frío conforme disminuye la altura de la tubería

Columna de aire frío ▼	
Altura [m]	Presión [Pa]
12	0.000
11	12.681
10	25.366
9	38.051
8	50.736
7	63.421
6	76.106
5	88.791
4	101.476
3	114.161
2	126.846
1	139.531
0	152.216

En la Tabla 7 se puede observar la presión máxima. Al no existir una fuerza que empuje el aire frío (sólo la fuerza de gravedad), la fuerza máxima que actúa en este punto es el peso²⁸ de la columna de aire frío.

²⁸ Peso. Es la fuerza que ejerce un cuerpo por la acción del campo gravitatorio local. El peso del aire se encuentra determinado por su composición y la presión atmosférica del lugar.



Para calcular el peso que ejerce la columna de aire frío en el punto de máxima presión

$$W = (m)(g) \quad ; \quad \rho = m / \text{Vol} \quad ; \quad \text{Vol} = (h)(\pi)(\phi/2)^2$$

$$\rho_{\text{aire-cdmx}} = 1.297 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad , \quad g_{\text{cdmx}} = 9.78 \text{ [m/seg}^2\text{]} \quad , \quad \phi_1 = 0.20 \text{ [m]} \quad h = 12 \text{ [m]}$$

$$W_{\text{aire-cdmx}} = (\rho)(g)(\text{Vol})$$

$$W_{\text{aire-cdmx}} = (1.297)(9.78)(12)(\pi)((0.20) / (2))^2$$

$$W_{\text{aire-cdmx}} = 4.782 \text{ [N]}$$

Este peso es la fuerza que genera la columna de aire frío en el punto 1 de la Figura 63.

Grafiqué los datos de las Tablas 6 y 7 para observar el comportamiento de las presiones de los flujos de aire frío y caliente en el tiro en vertical de la tubería de salida (Figura. 66).

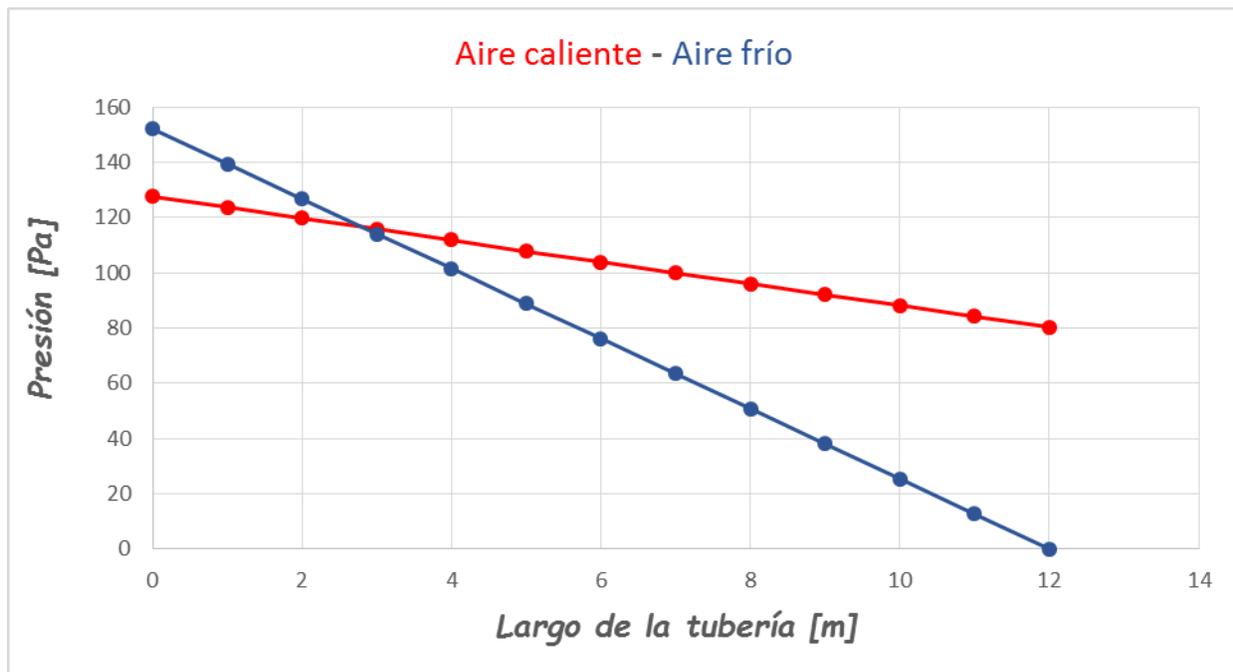


Figura. 66 – Grafica de presiones de aire frío y caliente en la tubería de salida del Probatone

En la Figura 66 se puede observar:

- Antes de los 3 [m] la presión del aire frío es mayor que la del aire caliente
- Aproximadamente a los 3 [m] la presión de aire frío y aire caliente se igualan
- Después de los 3 [m] se comienza a notar el aumento de la presión del aire caliente

De los resultados de los cálculos anteriores pude determinar:

- El flujo volumétrico del aire caliente tiene una reducción del 50% aproximadamente
- El peso de la columna de aire frío es mayor que la fuerza con la que salía el aire caliente del catalizador
- El aire caliente dentro de la tubería tiene un comportamiento de flujo en transición e incompresible
- El flujo de aire caliente tiene una pérdida de presión del 3% aproximadamente por metro

Para corregir esta falla, le hice la observación al jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V que había que recortar el tubo de salida de aire caliente a 3 [m] pero por cuestiones de seguridad interna de la planta esta altura tenía que tener un tiro mínimo en vertical de 4 [m].

El día 28 de enero del 2018, el jefe de mantenimiento me comentó que sostuvo una plática con sus superiores del comisariato y decidieron llevar acabo la modificación que sugerí.

Durante el transcurso de este día, se realizaron las siguientes actividades:

- ✓ Se desarmó la tubería (Figura. 67)



Figura. 67 – Personal de mantenimiento de Restaurantes Toks, desarmó la tubería de salida de aire caliente

- ✓ Se recortó y modificó la tubería para que diera el tiro necesario (Figura. 68)



Figura. 68 – Personal de mantenimiento de Restaurantes Toks, recortó y modifico la tubería a las condiciones

- ✓ Se colocó la tubería modificada (Figura. 69)



Figura. 69 – Personal de mantenimiento de Restaurantes Toks, colocó la tubería modificada

Al final del día se dejó la tubería armada y la línea de tostado ajustada para el inicio de actividades.

El día 29 de enero del 2018 al inicio de la jornada laboral la Comisión Nacional del Agua reportó (Figura. 70) una temperatura de 2 [°C] en la Ciudad de México.

Se presentó una temperatura baja en la Ciudad de México la cual fue una excelente oportunidad para probar la línea con las modificaciones en la tubería de salida y validar el funcionamiento bajo las condiciones que afectaban el funcionamiento de la línea de tostado de café en verde ocasionando que se detuviera.

Resumen de datos para el 29 de Enero de 2018:

● Temperatura Máxima	22 °C	21:40	● Temperatura Mínima	2 °C	02:44
● Humedad máxima	75.5 %	08:31	● Humedad mínima	6.1 %	22:42

Figura. 70 – Temperatura y humedad relativa, obtenidos de la página de CONAGUA

Con estas condiciones ambientales, inicié las pruebas en seco de la línea de tostado de café en verde, realicé cuatro pruebas las cuales resultaron exitosas en todas las etapas Tabla 2, no se alarmó el equipo motivo por el cual tome la decisión de realizar pruebas con café en verde.

El área de producción del comisariato me proporcionó la materia prima necesaria para realizar las pruebas suficientes para validar el funcionamiento de la línea de tostado.

El equipo de tostado está diseñado para soportar como carga mínima 35 [kg] de café en verde y como carga máxima 60 [kg] de café en verde, obteniendo al final el 20 % menos en peso de café tostado a causa de la deshidratación del producto procesado.

Para estas pruebas utilicé los parámetros de la receta de tostado de Restaurantes Toks S.A de C.V, con la finalidad de no desperdiciar la materia prima (60 [kg]).

- ✓ Verifiqué el funcionamiento de la etapa dos: tomé muestras de café durante el proceso de tostado para validar el proceso de tostado (Figura. 71) y el correcto funcionamiento del quemador



Figura. 71 – Tonalidades del grano de café durante el proceso de tostado

- ✓ Verifiqué el funcionamiento de la etapa cuatro: observé el correcto funcionamiento del quemador durante todo el ciclo de depuración de los gases generados por el proceso de tostado y al final de este ciclo el apagado automático del equipo (Figura. 72)

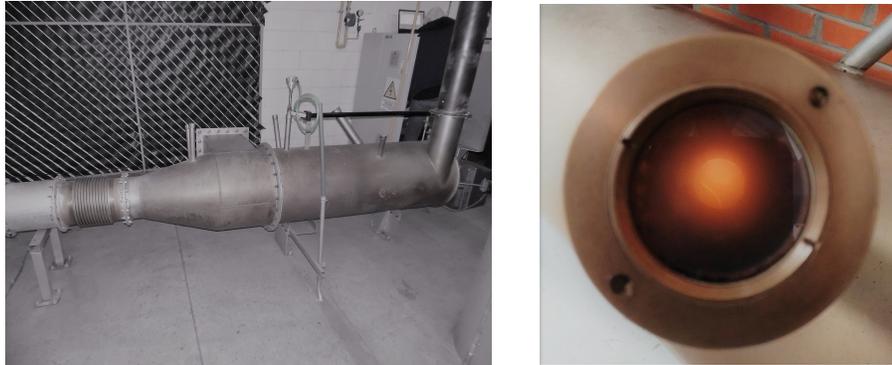


Figura. 72 – Flama encendida del quemador de la etapa cuatro

Después de haber realizado pruebas con materia prima se validó la operación del equipo con temperaturas atmosféricas bajas, posteriormente autoricé la operación de la línea de tostado para una producción continua. El jefe de mantenimiento de Restaurantes Toks S.A de C.V, dio el visto bueno al funcionamiento de la línea.

Durante el resto del día laboral, el equipo de calidad del comisariato (Figura. 73) realizó pruebas a los lotes de café tostado para verificar su calidad.



Figura. 73 – Personal de calidad verificando el proceso de tueste del café

Todas las etapas funcionaron de forma correcta, no se alarmaron los equipos y la línea de tostado trabajo de forma adecuada sin presentar las fallas anteriormente reportadas o nuevas.

5.3 Resultados

Con los ajustes a la línea, el tiempo de producción por ciclo se redujo en un 10% aproximadamente, con esta reducción de tiempo el personal de calidad temía que no se cumpliera el índice de calidad (número de colorimetría), este índice se genera con el lapso de tiempo que permanece el grano de café dentro del tostador a los parámetros establecidos en su receta de tostado.

Para medir este índice utilizan el equipo Colorette²⁹ de la compañía Probat (Figura. 74).



Figura. 74 – Equipo para medir el grado de tostado de la compañía Probat

Para preparar una muestra, muelen el grano de café previamente tostado de un lote seleccionado, posteriormente lo introducen en el Colorette y este arroja en el display un resultado numérico que corresponde al grado de tostado, cada grado de tostado tiene propiedades diferentes. El tueste ideal de Restaurantes Toks S.A de C.V corresponde al número 69 en la escala de color de Probat (Figura. 75), este número corresponde a un tueste medio³⁰ (medium dark – full city).



(a)

Color de tueste	PROBAT Colorette	Agtron Gourmet
muy claro	134	95
claro	121	85
claro moderado	108	75
débil mediano	95	65
mediano	82	55
oscuro moderado	69	45
oscuro	56	35
muy oscuro	43	25

(b)



(c)

Figura. 75 – Laboratorio del comisariato de Restaurantes Toks S.A de C.V (a) pruebas de grado del tueste con el equipo Colorette, (b) escala de color Probat para el tueste de café, (c) tonalidad del tueste full city

²⁹ Colorette. Equipo de elevada precisión y sencillo manejo en la preparación de muestras para obtener el grado de tostado. La compañía Probat cuenta con una escala de medición de color o grado de tueste propia para estos equipos.

³⁰ Tueste medio. Los tuestes medios alcanzan temperaturas internas de entre 210 – 220 [°C], el ciclo de tostado se mantiene hasta el segundo crack. Es de una tonalidad de café intensa y tiene presencia de aceites en su superficie, lo convierte en un tueste semi-húmedo. Se caracteriza por tener un sabor mucho más perdurable en el paladar con un after-taste agradable. Se considera un tueste que resalta el cuerpo de los granos al no ser ácido.

En los primeros tuestes, el resultado no fue el ideal, pero se mantenía dentro del rango de tueste 60 – 75 para el tipo de tostado que procesan, ajusté la intensidad de la flama del quemador de la etapa dos y se llegó al grado de tueste deseado por el personal de calidad de Restaurantes Toks S.A de C.V.

Al funcionar correctamente el equipo, se tenía la duda: *“el equipo cumple la normatividad medioambiental”* esta era una de las principales preocupaciones del comisariato. La empresa MYASA no cuenta con un equipo para medir este dato, pero el proveedor del equipo en las especificaciones técnicas del mismo afirma:

- El aire que sale de la etapa cuatro solo debe oler muy débilmente al producto procesado
- El aire que sale de la etapa cuatro al ambiente no debe de presentar vapores azules o grises
- La temperatura de los gases antes de la entrada del catalizador debe de estar entre 400 – 450 [°C]
- El catalizador no se encuentre obstruido o sin el recubrimiento metálico
- El equipo esté operando en óptimas condiciones

Cumpliendo estas condiciones el fabricante (proveedor de Probat) asegura que se cumple con la normatividad medioambiental teniendo emanaciones de carbono menores a 50 [mg/m³].

Me comentó el jefe de mantenimiento de la empresa Restaurantes Toks S.A de C.V que posteriormente comprarían el equipo para tomar las mediciones de los gases de salida de la etapa cuatro o contratarían una empresa dedicada hacer estos servicios, y de ser necesario se pondrían en contacto conmigo para modificar los parámetros de la línea a fin de cumplir con la normatividad medioambiental y no incurrir en incumplimientos legales que pudieran llevar al cierre temporal del comisariato.

Con el óptimo funcionamiento de la línea de tostado de café, Restaurantes Toks S.A de C.V pudo volver a satisfacer la demanda de este producto a sus 34 establecimientos que se encuentran en la Ciudad de México, cumpliendo con sus estándares de calidad y su compromiso de ESR³¹.

Antes de retirarme de las instalaciones del comisariato realicé una capacitación en la operación del equipo a los operadores de la línea (Figura. 76), al término de esta capacitación notifiqué vía telefónica al Subgerente del área SP sobre las actividades realizadas, los resultados obtenidos y las condiciones en las que dejé la línea de tostado de café.



Figura. 76 – Capacitación al personal operativo de Restaurantes Toks S.A de C.V



El día 30 de enero del 2018 regresé a las instalaciones de la empresa MYASA para explicarle al Gerente General las actividades, fallas, contratiempos, soluciones y resultados que se presentaron en este proyecto.

Posteriormente realicé un reporte de servicio “**REPORTE_DE_MANTENIMIENTO_20180125**” con el expediente **AM15/MY-SE0436-4** en el que se describen todas las actividades realizadas, este reporte se le entregué a todos los participantes del proyecto como un respaldo informativo de los servicios realizados.

Platiqué con el Subgerente del área SP sobre la necesidad de notificar al área de diseño de la empresa Probat de las fallas que se originan en la línea de tostado Probatone 60 bajo condiciones climatológicas específicas, temperaturas menores a 5 [°C].

El Subgerente del área SP me autorizo esta actividad.

La información generada durante todo el proyecto se la envié a la Ing. Willeke Harmsen que es el contacto directo con la empresa Probat en Alemania (Figura.77), comprometiéndose a transmitir esta información al área de diseño para validar y considerar estas variables para futuros equipos.

A final incluí la recomendación de colocar un sistema de extracción sobre el tubo de salida de la etapa cuatro o considerar el largo en vertical de esta misma tubería para evitar paros en la línea de tostado ocasionados por las temperaturas bajas en la región.



Figura. 77 – Probat Werke en Emmerich, Alemania

³¹ ESR. Empresa Socialmente Responsable, es una compañía que tiene una contribución activa y voluntaria para mejorar el entorno social, económico y ambiental, con el objetivo de optimizar su situación competitiva y su valor añadido.



6 - Conclusiones

En el presente trabajo se cumplió el objetivo que se planteó. La solución de recortar el tiro de la tubería de los gases de salida evito: que se detuviera la línea de tostado de café en verde, que se obtuviera la calidad deseada en su proceso de tueste, que se cumpliera la normatividad medioambiental, que se satisficiera la necesidad de abastecimiento en sus restaurantes de la CDMX y el saber por qué era la falla.

A través del análisis de fallas del equipo que compone la línea de tostado de café, llegué a la conclusión: “Las condiciones climatológicas afectan directamente las funciones del equipo”, con esta idea calculé la presión de aire frío y de los gases calientes dentro de la tubería, estas presiones generaban un retén que reducía el gasto volumétrico de los gases a la salida, ocasionando que aumentara la presión en la recamara del postquemador, alarmando el equipo y deteniendo la línea de tostado de café en verde.

La Facultad de Ingeniería me inculco el pensamiento analítico y me dio las bases en los conocimientos de ciencias físicas para analizar los problemas de diferentes ángulos.

Por los conocimientos que me dio la Facultad de Ingeniería y por el perfil de Ingeniero Mecánico, me fue asignado el proyecto en su totalidad. Las soluciones propuestas, análisis y resultados obtenidos fueron gracias a los conocimientos obtenidos de los profesores y material didáctico que me ofreció la Facultad de Ingeniería durante mi formación como Ingeniero Mecánico.

Como se puede observar en los resultados obtenidos, el hecho de ser una compañía mundial (Probat) y contar con áreas de diseño para equipos industriales, no se pueden tomar en cuenta todas las consideraciones a las que se encontrarán sometidos los equipos, por lo que es importante la retroalimentación o reingeniería del personal involucrado en la operación y servicio técnico de los equipos ya que se pueden detectar deficiencias en el diseño que no estaban contempladas y realizar mejoras para la funcionalidad de los equipos.

Es interesante señalar que las modificaciones propuestas al diseño de la línea de tostado de café Probatone 60, las considero la empresa Probat modificando los requerimientos necesarios en sus especificaciones para la instalación, recomendando para el correcto funcionamiento una altura máxima de la tubería de salida de los gases calientes o añadiendo un sistema de extracción en esta sección.

Durante el transcurso de este proyecto, considero que desempeñé diferentes habilidades como Ingeniero Mecánico, tuve la oportunidad de aplicar áreas de conocimiento, como son: costos e ingeniería económica, dibujo mecánico e industrial, electricidad y magnetismo, termodinámica aplicada, mecanismo y mecánica de fluidos para llegar a la mejor solución del objetivo del proyecto.

Aprendí a lo largo de este proyecto, lo importante que es el mantenimiento regular a los equipos industriales o tecnológicos, durante estos servicios se pueden modificar los parámetros o condiciones a modo de prevenir fallas en los equipos permitiendo el funcionamiento continuo de estos por el mayor tiempo posible. Durante estos servicios se pueden encontrar fallas ocultas o no perceptibles durante la operación, estos pueden dañar al equipo, de aquí radica el poder determinar la confiabilidad de los equipos.



Bibliografía

- MATAIX, Claudio. (1970). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid, España. Ediciones del Castillo
- REYNOLDS, William C. (1976). *Termodinámica*. Ciudad de México, México. Mc Graw-Hill
- KEENAN, Joseph. y KEYES, Frederick. (1959). *Thermodynamics properties*. United State of America. John Wiley & Sons Inc
- CENGEL, Yunes. y BOLES, Michael. (2012). *Termodinámica*. Ciudad de México, México. Mc Graw-Hill
- ROELOFS, Jens. (2016). *Shop roaster*. Emmerich, Alemania. Linsen Druckcenter
- TREML, Egon. (2013). *Manual de aplicaciones en la industria del café*. Curitiba, Brasil. Probat Leogap
- ALBANIL, Adelina. (2018). *Precipitación*. Reporte del clima en México, 8 (1), 10 -17.
- ALBANIL, Adelina. (2017). *Precipitación*. Reporte del clima en México, 7 (1), 9 -17.
- ALBANIL, Adelina. (2016). *Precipitación*. Reporte del clima en México, 6 (1), 7 -17.
- Clean air compliance handbook*. (1^{ra} edición). (1998). United State of America. Megtec System
- Servicio Meteorológico Nacional. (2018). *Pronostico del tiempo*. Recuperado 05 de junio del 2018, de <http://smn.cna.gob.mx/>
- Meteored. (2018). *Clima en la ciudad de México*. Recuperado 10 de junio del 2018, de https://www.meteored.mx/clima_Ciudad+de+Mexico-America+Norte-Mexico-Distrito+Federal--1-21043.html
- Probat-Werke. (2018). *Probat shoproaster*. Recuperado 28 de enero del 2018, de <https://www.probat-shoproaster.com/en/home/>
- GAVIRIA, Juliette. (2015) *Mecánica de fluidos*. Recuperado 13 de marzo del 2018, de www.mecanicadefluidoscod5131587.blogspot.com



Apéndice 1.- Especificaciones técnicas

	Energy Data	Page 1 of 3
--	--------------------	-------------

Customer:	Myasa (for Toks)	
Quotation No.:	949650/05	Comm. No.:

Electrical Current		
1. Three-phase current (alternating current)		
Frequency:	<u>60</u> Hz	Network TN-S
Supply voltage between L1 – L2, L1 – L3, L2 – L3:	<u>220</u> V	
Single-phase voltage:	<u>110-127</u> V	
Zero conductor existing:	<input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	
Voltage fluctuations: > ± 10%	<input type="checkbox"/> yes <input checked="" type="checkbox"/> no	
	if yes, how much _____ %	
2. Installation regulations		
<input type="checkbox"/> Standard:	Design of the plants as per EN 60204, part 1 (IEC 204-1).	
<input type="checkbox"/> Special regulations:		
Direct switching of three-phase squirrel-cage motors admissible up to a maximum nominal power of:	<u>5.5</u> kW	
3. Environmental influences		
Altitude of the plant above sea level:	<u>2600</u> m	above mean sea level
Annual average outside temperature:	<u>25</u> °C	
Annual average relative air humidity:	<u>65</u> %	

Combustible for Heating Installations		
Gas		
Execution of fitting as per EU guideline DIN EN 746-2	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Town gas <input type="checkbox"/> Natural gas <input checked="" type="checkbox"/> Liquid gas <input type="checkbox"/> Special gas		
Composition in case special gas is used:		
Net calorific value (referred to standard physical conditions):	Hu = <u>100</u> MJ/m ³	
Flow pressure in the pipeline:	100 mbar at Natural gas <input type="checkbox"/>	
	50 mbar at Liquid gas <input checked="" type="checkbox"/> or p = _____ mbar	
Maximum flow pressure:	300 mbar <input type="checkbox"/> or p _{max} = _____ mbar	
Fuel oil		
<input type="checkbox"/> Light fuel oil <input type="checkbox"/> Kerosine		
Net calorific value:	Hu = _____ MJ/kg	
Viscosity:	_____ mm ² /s	
	(composition to be stated in case of < 4.5 and > 8)	

C:01.03.00410-001-7-en15.01.2013top-wsp-ar





	Energy Data	Page 2 of 3
--	--------------------	-------------

Water		
Process water must be available in drinking water quality.		
Flow pressure:	3 – 8 bar, available	<input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no
Emergency water from reservoir:		<input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no
Content of reservoir:	_____ ltrs	

Compressed air		
Compressed air existing:		<input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no
Flow pressure:	6 – 8 bar, available	<input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no
<u>Required compressed air quality (3.4.2 as per ISO 8573-1:2010):</u>		
Solid particles	1.0 – 5.0 µm	Concentration max. 1000 units/m ³
Water	dew point 3 °C	
Fuel oil	concentration max. 0.1 mg/m ³	
Required compressed air quality available		<input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no

Emission limits for exhaust air as per the regulations of the authorities	
Temperature min./max.:	_____ / _____ °C
Dust:	_____ mg/m ³
C-compounds (organic C)	_____ mg/m ³
CO-compounds (CO):	_____ mg/m ³
Nitrogen oxides (NO _x):	_____ mg/m ³
<small>(m³ in dry state referred to standard physical conditions, i. e. 1.013.25 mbar and 0 °C)</small>	

Noise	
At the location of the operator in the production area:	_____ dB(A) temporarily
Guideline value for the sound pressure level not to be exceeded in the vicinity of the production building:	_____ dB(A)

Annotations:	
Date	Name
<i>[Signature]</i>	<i>Silvano Pérez E</i>

Abbreviations: N.N. = ~~yet to be determined~~
 N.A. = not to be used

C. 01.03.004-10-002-7rev15.01.2015/qp-wsp-ar



	Energy Data	Page 3 of 3
--	--------------------	-------------

Standard presettings

Strom	
1. Rotary current (3-phase alternating current)	
Frequency:	- 50 Hz
Supply voltage:	- 400 V
Mono-phase AC voltage:	- 230 V
2. Installation regulations	
Direct switch-on is permitted for rotary current squirrel-cage motors up to max. nominal capacity of: - 4 kW	
3. Environmental influences	
Height of plant above sea level:	- relevant as from 1000 m above sea level
External temperature on yearly average:	- 5 - 30 °C
Relative air moisture on yearly average:	- 10 - 80 % and no condensation
Fuel for heating devices	
Natural gas:	- Hu = 37 MJ/m ³
Design of fittings:	- see dwg. C17.17/02004-001..
Liquid gas (Propane):	- Hu = 100 MJ/m ³
Oil:	- Hu = 42 MJ/kg
Design of fittings:	- see dwg. C17.17/02004-010..
Emission limit values for exhaust air according to licensing requirements	
Dust:	- 20 mg/m ³
C compounds (org. C):	- 50 mg/m ³
CO compounds (CO):	- 100 mg/m ³
Nitric oxides (NO _x):	- coffee-specific, target value 350 mg/m ³ with Proforte only
Noise	
On the operator's location in the production area:	- see noise data sheet
Standard value for sound pressure level which may be emitted max. through the suction/exhaust gas ducts:	- see noise data sheet

C 01_0000410-003-7.mv15.01.2013\hw-wsp-ar



Silvano Perez E
gte. Comisariato
TOKS



Datapaper of emissions												
												
customer: Myasa Mexico D.F. - Mexico												
order no.: 15.40052												
guiding values average values measured in stack valid for degree of roast >80 SKL Colorette 3a												
no.	source	operating process			exhaustgas-		emission average values			deter- mination method		
		operating- unit	regularity	individual duration min.	total duration min	flow m³/h	temp. °C	type of substance	state of aggregation		conz. mg/m³*	flow kg/h
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Y1	roasting	4	15	60	700	400 - 500 ***	carbon dust	g	< 200 - 400	0,14 - 0,28	a.)
2	Y1	roasting	4	15	60	700	400 - 500 ***		stg	< 20	0,014	b.)
4	Y2	cooling	4	7	28	3000	30-130	carbon dust	g	< 50 **	0,070	a.)
5	Y2	cooling	4	7	28	3000	30-130		stg	< 20	0,060	b.)

drawing no.: **in operation**

a.) = Measured with Testa FID 123 as per DIN EN 12619-1999, annex E (propane in synthetic air calibrated, response = 1)
 b.) = dust measurement in flowing gases - gravimetric determination of dust load as per VDI 2066 part 1: 2006-11 and DIN EN 13284-1: 2001 (in-stack-method)

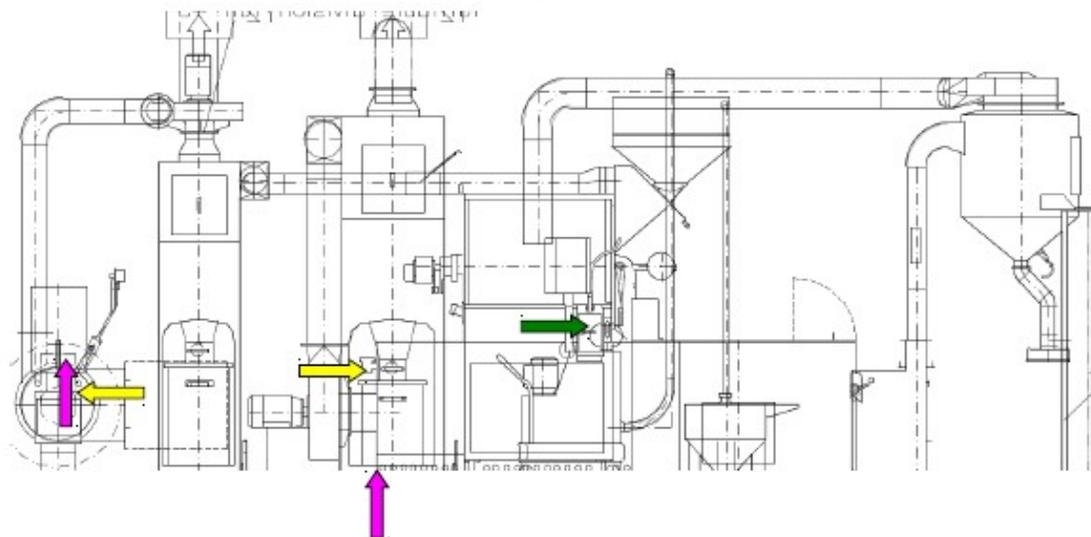
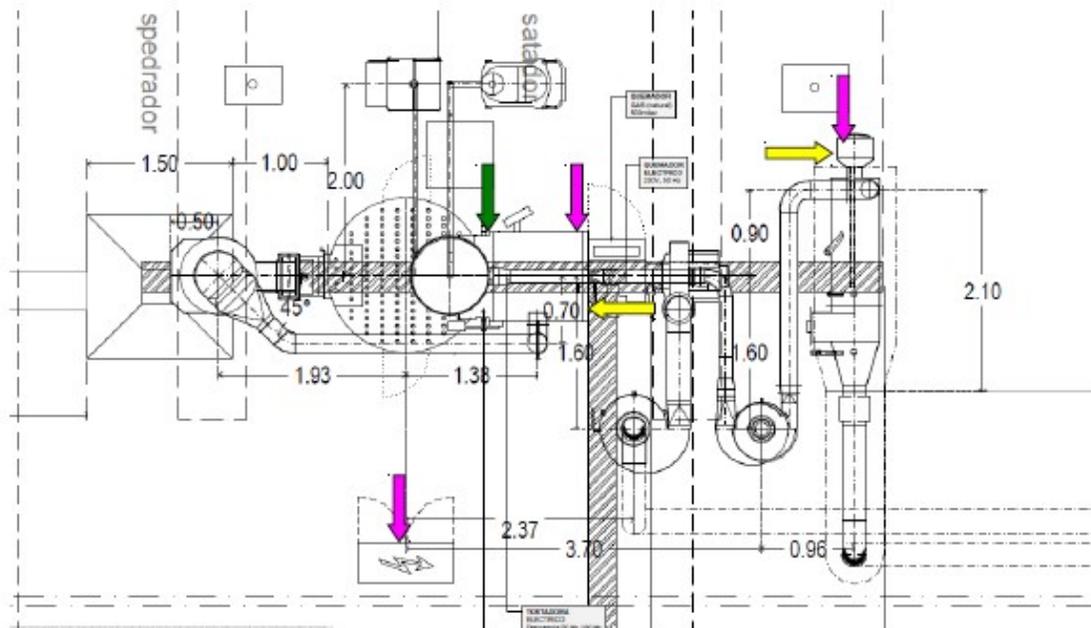
* = referred to standard condition dry, expressed as average value related to half an hour and under operational conditions
 ** = depending on green coffee quality and at dark degree of roast higher concentrations could arise
 *** = standard operating temperature 450 °C
 g = in gas form
 stg = in dust form

- The values of the exhaust gas streams and mass concentration refer to standard conditions (273,15 K; 101,3 kPa)
 - The indicated emission values are based on a certain green coffee composition, a certain degree of roast as well as on a certain residual moisture content.

C33-05-00124 Probatone 60 KuehIZ HochSE TVR-GEH Myasa Mexiko 15-40052.xls, 28.05.2015, PMR-hem
C33.05/00124-001-0

Apéndice 2.- Diagramas

Flecha Verde: Conexión de Agua
Flecha Amarilla: Conexión de Gas
Flecha Rosa: Conexión Eléctrica





0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																		
PRB01 19.16.2007 800																											
																											
PROBAT-WERKE von Gimborn Maschinenfabrik GMBH Postfach 100732 D 46427 Emmerich Tel.: 02822 / 912-0 Fax.: 02822 / 912-444																											
Cliente : TOKS Denominación instal : POSTQUEMADOR TVR/GEH Número de plano : C85.20/03249-000-0 Komisión : 15/40052																											
Fabricante (Firma) : PROBAT-WERKE EMMERICH Viae (sin \EPLAN\p) : PRB\TOKS\ Nombre del proyecto : TOKS2 Marca : PROBAT-WERKE Tipo : PILOT ROASTER BASIC Lugar de instalación : MEXICO D.F. Responsable del proyecto : Número cliente : S1234																											
Confeccionado el : 23.06.14 por: DTR Número máximo de hojas: 5000 Elaborado el : 23.09.15 por: DTR Cantidad de hojas : 46																											
																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Schutzzeichen nach DIN ISO 24016 I</td> <td style="width: 15%;">Datum 02.06.15</td> <td style="width: 15%;">15/40052</td> <td style="width: 15%;">TOKS</td> <td style="width: 15%;">C85.20/03249-000-0</td> <td style="width: 15%;">ANW + DIRECTORY</td> </tr> <tr> <td>Prüferdatum</td> <td>Besitz. DTR</td> <td>Erst.-a.</td> <td>Erst.-f.</td> <td>PRB\TOKS\ DACA</td> <td>Bl.</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>23.09.15</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> </table>										Schutzzeichen nach DIN ISO 24016 I	Datum 02.06.15	15/40052	TOKS	C85.20/03249-000-0	ANW + DIRECTORY	Prüferdatum	Besitz. DTR	Erst.-a.	Erst.-f.	PRB\TOKS\ DACA	Bl.	0	23.09.15	2	3	8	9
Schutzzeichen nach DIN ISO 24016 I	Datum 02.06.15	15/40052	TOKS	C85.20/03249-000-0	ANW + DIRECTORY																						
Prüferdatum	Besitz. DTR	Erst.-a.	Erst.-f.	PRB\TOKS\ DACA	Bl.																						
0	23.09.15	2	3	8	9																						



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																								
PRB01_19-16-2007_R05																																	
																																	
PROBAT-WERKE von Gimborn Maschinenfabrik GMBH Postfach 100732 D 46427 Emmerich Tel.: 02822 / 912-0 Fax.: 02822 / 912-444																																	
Cliente : TOKS Denominación instal : TOSTADOR PROBATONE 60 SA + E Número de plano : C93.11/03387-000-0 Komisión : 15/40052																																	
Fabricante (Firma) : PROBAT-WERKE EMMERICH Viae (sin \EPLANA\p) : PRB\TOKS\ Nombre del proyecto : TOKS1 Marca : PROBAT-WERKE Tipo : PILOT ROASTER BASIC Lugar de instalación : MEXICO D.F. Responsable del proyecto : Número cliente : S1234																																	
Confeccionado el: 27.02.14 por: DTR Número máximo de hojas: 6001 Elaborado el : 23.09.15 por: DTR Cantidad de hojas : 87																																	
																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Schutzvermerk nach DIN ISO 16016-1</td> <td style="width: 15%;">Datum 29.06.15</td> <td style="width: 15%;">15/40052</td> <td style="width: 15%;">TOKS</td> <td style="width: 15%;">-B3</td> <td style="width: 15%;">+ DIRECTORY</td> </tr> <tr> <td>23.09.15</td> <td>Bearb./DTR</td> <td>TOSTADOR PROBATONE 60 SA + E</td> <td></td> <td>PRB\TOKS\</td> <td>C93.11/03387-000-0</td> </tr> <tr> <td>gepr.</td> <td>Erst.-a.</td> <td>Erst.-f.</td> <td></td> <td>10031</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Notiz</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Schutzvermerk nach DIN ISO 16016-1	Datum 29.06.15	15/40052	TOKS	-B3	+ DIRECTORY	23.09.15	Bearb./DTR	TOSTADOR PROBATONE 60 SA + E		PRB\TOKS\	C93.11/03387-000-0	gepr.	Erst.-a.	Erst.-f.		10031		Notiz					
Schutzvermerk nach DIN ISO 16016-1	Datum 29.06.15	15/40052	TOKS	-B3	+ DIRECTORY																												
23.09.15	Bearb./DTR	TOSTADOR PROBATONE 60 SA + E		PRB\TOKS\	C93.11/03387-000-0																												
gepr.	Erst.-a.	Erst.-f.		10031																													
Notiz																																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																								

Apéndice 3.- Manuales técnicos



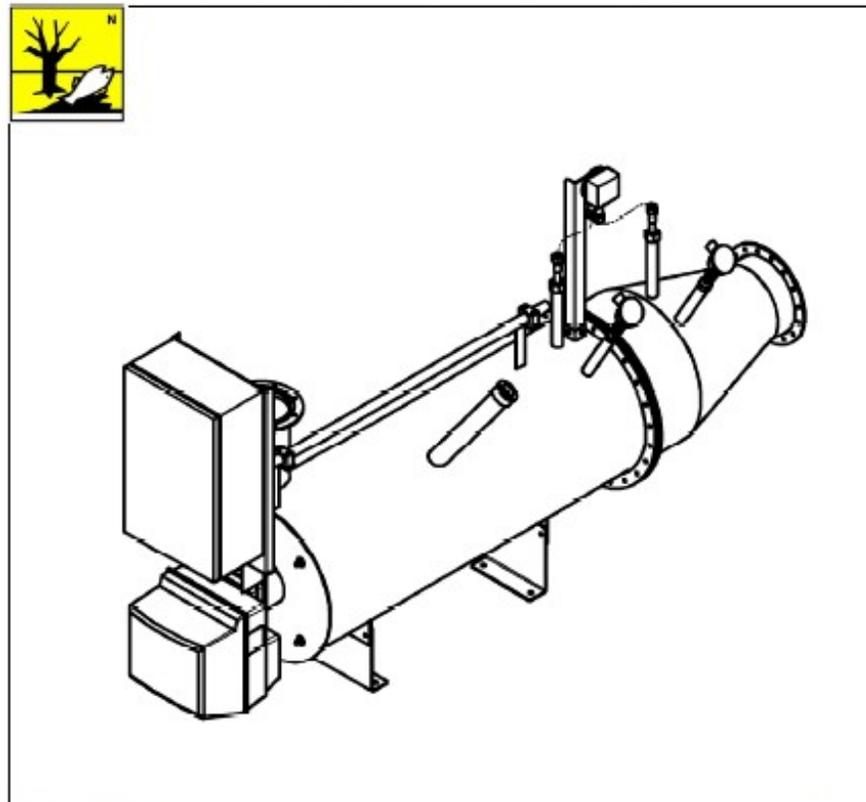
PROBAT

Quemador de post-combustión Tipo TVR/NVK 1-500/1

Instalación adicional para la tostadora PROBATONE 60

Com. N°:

Instrucciones de servicio



C47.08/00235-105-0

09/14es



Manual de aplicaciones
en la industria del café



Manual de servicio
Tostadora de café
PROBATONE 60
Tipo SA



C33.08/00088-105-0
08/2015

Antes de comenzar cualquier trabajo, ¡leer el manual de servicio!

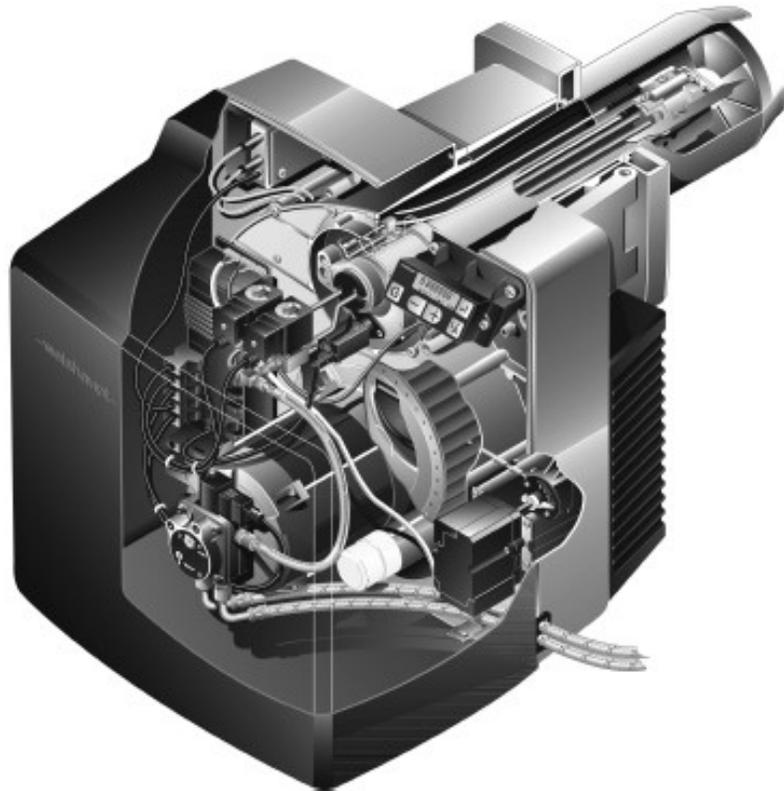
Mai 2013

**Ersatzteile für
Brenner-Typen WL40**

**Spare parts for
burner types WL40**

**Pièces de rechange
pour brûleurs WL40**

–weishaupt–



Gebrauch

Brennertyp und Fabriknummer feststellen.
Diese Angaben stehen auf dem Typenschild.

Zuordnung des defekten Teiles zu einer der
Sachgruppen des Inhaltsverzeichnis
bestimmen.

Teil in der entsprechenden Sachgruppe der
Ersatzteilliste auswählen.

Bitte geben sie in der Bestellung an:

- Bezeichnung des Ersatzteiles
- Bestellnummer
- Brennertyp
- Fabriknummer

Instructions for use

Determine burner type and serial number.
These data are on the nameplate.

Coordination of the defective part to one of
the subject indexes of the table of contents.

Select part in the appropriate subject index of
the spare parts list.

Kindly indicate in the order:

- Designation of the spare part
- Order-No.
- Burner type
- Serial-No.

Utilisation

Chercher le type et le numéro de fabrication
du brûleur. Ces éléments se trouvent sur la
plaque signalétique.

La pièce défectueuse appartient à une famille
du catalogue.

Choisir la pièce dans cette famille.

Indiquer également:

- Désignation de la pièce
- No de référence
- Type brûleur
- No de fabrication



PROBAT PILOT

