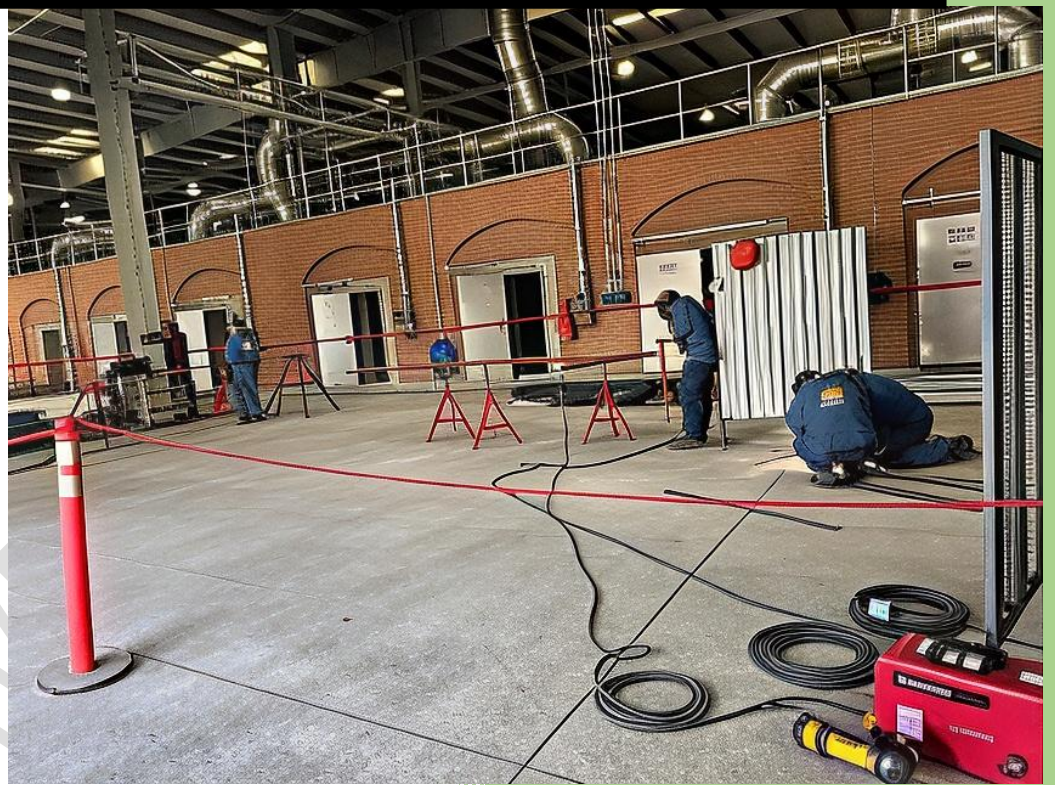


2026

# Horno de Mamposteria de 20 Tons



AGAL

By : Ing Gerardo Carrillo Mendoza

Avyssat SA de CV.

25-3-2026

Te presento a tu consideración el Cálculo un horno de mampostería para 20000 kilos de agave azul, con interior de piedra volcánica para retener calor, con los anchos de los muros, las dimensiones exteriores y dimensiones interiores, con inyección de vapor con tubería de acero inoxidable, el tamaño y potencia de la caldera, tiempos de cocción.

Para 20 toneladas, el volumen de agave (considerando acomodo manual y espacios para vapor) es de aproximadamente **42 m<sup>3</sup> a 45 m<sup>3</sup>**.

---

## 1. Dimensiones del Horno (Capacidad 20 Toneladas)

Para optimizar la penetración del vapor y facilitar la carga/descarga, lo ideal es un diseño alargado (tipo túnel):

- **Dimensiones Interiores:**
    - **Ancho:** 3.50 metros.
    - **Largo:** 6.00 metros.
    - **Alto (hasta la base del arco):** 2.20 metros.
    - **Altura total interna (flecha del arco):** 3.00 metros.
  - **Dimensiones Exteriores:**
    - **Ancho:** 5.10 metros.
    - **Largo:** 7.20 metros.
    - **Alto:** 4.20 metros (incluyendo cimentación y espesor de bóveda).
- 

## 2. Ingeniería de Muros y Retención de Calor

Debido a la masa de agave, los muros deben ser extremadamente robustos para evitar que se "abran" por el peso lateral y la presión del vapor.

- **Ancho del muro: 80 cm.**
- **Composición del muro (de adentro hacia afuera):**
  1. **Capa Térmica:** 25 cm de **Piedra Volcánica (Recinto)**. Su alta inercia térmica es lo que dará el sabor tradicional.
  2. **Capa de Amarre:** Ladrillo refractario pegado con mortero de arcilla y cemento aluminoso.

3. **Capa Aislante:** 10 cm de placa de fibra de vidrio de alta densidad o perlita expandida.
  4. **Capa Estructural:** 35-40 cm de mampostería de piedra o ladrillo rojo con **contrafuertes exteriores** de concreto armado para contrarrestar el empuje de la bóveda.
- 

### 3. Sistema de Drenaje Dinámico

Para 20 toneladas, la cantidad de mieles es masiva (aproximadamente 2,000 a 3,000 litros por carga).

- **Forma del piso:** Un diseño de "V" invertida o caída de doble vertiente hacia un canal central de acero inoxidable 316L.
  - **Separación de mieles:** El canal debe conectar a una "Y" con válvulas de acero inoxidable:
    - **Válvula A (Desecho):** Para las primeras 4-6 horas (mieles amargas, ceras, suciedad).
    - **Válvula B (Recolección):** Para el resto del proceso (mieles dulces ricas en azúcares fermentables).
- 

### 4. Inyección de Vapor y Caldera (Cálculo de Potencia)

Para 20 toneladas, la distribución del calor es el mayor reto. Si no se calcula bien, el centro quedará crudo y las orillas quemadas.

- **La Caldera:** Necesitas una caldera de **80 HP**.
    - Esto permite una inyección rápida para subir la temperatura a 90°C en menos de 4 horas.
  - **Sistema de Flautas (Distribución):**
    - Tubería de **3 pulgadas** (principal) y ramales de **1.5 pulgadas** de acero inoxidable 316L.
    - Deben ir instaladas en el piso, protegidas por rejillas de acero inoxidable para que el peso de las piñas no las aplaste.
    - **Configuración:** 3 líneas de flautas a lo largo de los 6 metros del horno.
-

## 5. Cimentación para Carga Pesada

El peso total (horno + agave + vapor) superará las **90 toneladas**.

- **Losa:** Losa de cimentación de **40 cm de espesor**.
  - **Refuerzo:** Doble parrilla de varilla de **1/2" (no. 4)** a cada 15 cm.
  - **Zapatas corridas:** Debajo de los muros de carga, la losa debe reforzarse con una viga de cimentación integrada de 60x60 cm.
- 

## 6. Ciclo de Operación Sugerido

Al ser una masa tan grande, los tiempos se alargan para asegurar la hidrólisis total:

- **Carga:** 8 horas.
- **Cocción activa (Vapor):** 24 - 30 horas.
- **Cocción pasiva (Calor residual de piedra volcánica):** 20 - 24 horas.
- **Enfriamiento:** 12 horas.
- **Total:** ~72 horas (Ciclo de 3 días por carga).

## Calculo de los cimientos necesarios para este horno y como debe ser su construcción

Para soportar un horno de mampostería de **20 toneladas de agave**, más las aproximadamente **70-80 toneladas** que pesará la estructura de piedra, ladrillo y concreto, estamos hablando de una carga total de casi **100 toneladas**.

La cimentación no solo debe evitar que el horno se hunda, sino que debe resistir los ciclos de expansión térmica (calentamiento/enfriamiento) que fracturan el concreto común.

---

### 1. Diseño de la Cimentación (Losa de Cimentación Reforzada)

Para este tonelaje, se requiere una **losa de cimentación integral con contratraves** (vigas invertidas) bajo los muros.

- **Espesor de la losa:** 40 cm de espesor constante.
- **Resistencia del concreto ( $f'c$ ):** 250 kg/cm<sup>2</sup>, preferiblemente con aditivo impermeabilizante y fibra de polipropileno para reducir microfisuras.

- **Armado de la losa:**
  - **Parrilla Inferior:** Varilla de 1/2" (no. 4) a cada 15 cm en ambos sentidos.
  - **Parrilla Superior:** Varilla de 1/2" (no. 4) a cada 20 cm en ambos sentidos.
  - **Contratraveses (Bajo muros):** Debajo de donde desplanten los muros de 80 cm, la losa debe reforzarse con una viga integrada de 60×60 cm armada con 6 varillas de 5/8".
- 

## 2. Preparación del Terreno y Aislamiento Térmico

El mayor enemigo de la cimentación es el calor directo. Si el concreto se calienta a más de 100°C de forma constante, pierde su resistencia estructural.

1. **Mejoramiento de suelo:** Excava 60 cm, rellena con 20 cm de base hidráulica (grava/arena) y compacta al 95% Proctor.
  2. **Capa de "Sacrificio" o Aislamiento:** Sobre la losa de concreto ya colada, se debe colocar:
    - Una capa de **10 cm de arena de sílice o perlita**.
    - Sobre la arena, una cama de **ladrillo refractario de alta alúmina (2.5")**.
    - Finalmente, el piso de **piedra volcánica** de 20 cm.
    - *Esto asegura que la temperatura que llegue a la losa de cimentación no supere los 50°C.*
- 

## 3. Proceso de Construcción Paso a Paso

### Fase 1: Instalaciones Hidráulicas (Crítico)

Antes de colar la losa, debes instalar la tubería de drenaje para las mieles.

- Usa **tubo de acero inoxidable 316L de 4"**.
- No uses PVC ni fierro fundido (el ácido del agave corroe el fierro y el calor deforma el plástico).
- Deja las preparaciones para las "flautas" de vapor que emergerán del piso.

### Fase 2: El Cuerpo del Horno (Estructura Sándwich)

Para 20 toneladas, la presión lateral es enorme. Los muros de 80 cm se construyen así:

1. **Muro Interior:** Piedra volcánica (recinto) juntada con mortero refractario.
2. **Capa de Expansión:** Deja 1-2 cm libres entre la piedra y el siguiente muro, rellenos con colchoneta de fibra cerámica. Esto permite que el interior se expanda sin empujar el muro exterior.
3. **Muro Estructural:** Ladrillo rojo o block sólido reforzado con **castillos de concreto armado** a cada 1.5 metros.

### Fase 3: La Bóveda (Techo)

- Se construye con una cimbra de madera curva.
- Para 3.5 metros de ancho, el arco debe ser **rebajado o de medio punto**.
- Se recomienda colocar una "capa de compresión" de concreto sobre el arco de ladrillo/piedra para amarrar toda la estructura.

---

## 4. El Sistema de Drenaje de Mieles "Dual"

El piso debe tener una pendiente del **3% al 4%** dirigida hacia un canal central.

- **Canal Central:** Un canal de acero inoxidable con rejilla removible (para limpieza de bagazo).
- **Caja de Válvulas:** Al final del drenaje, fuera del horno, una caja con dos salidas.
- **Salida 1:** Al drenaje de desechos (mieles amargas/tierra).
- **Salida 2:** Al tanque de fermentación (mieles ricas en azúcar).

**Para cocer 20 toneladas de agave, el desafío no es solo generar calor, sino distribuirlo. En una masa tan grande, el agave actúa como un aislante térmico; si solo inyectas vapor por las paredes, el centro quedará crudo ("pinto"), lo cual arruina el sabor del destilado.**

Para evitar esto, diseñaremos un sistema de **inyección de vapor radial y ascendente** utilizando una red de "flautas" (tuberías perforadas) bajo el piso.

---

## 1. Configuración de la Red de Flautas

Para un horno de 3.5 de ancho por 6.0 m de largo, utilizaremos una configuración de **4 líneas longitudinales**.

- **Cabezal Principal (Manifold):** Tubería de acero inoxidable **316L de 3 pulgadas**. Debe entrar por la parte trasera del horno y distribuirse hacia los ramales.
  - **Ramales (Flautas):** 4 tubos de **1.5 pulgadas** que recorren los 6 metros del horno.
  - **Espaciamiento:** Las líneas deben estar separadas entre sí a 80 cm. Esto asegura que ninguna piña esté a más de 40 cm de una fuente directa de vapor.
- 

## 2. El Diseño de las Perforaciones

No se trata de hacer hoyos al azar. Para que el vapor llegue al final del tubo con la misma presión que al principio, usamos un diseño de **orificio compensado**:

- **Diámetro de orificios:** 1/8" (3.1 mm).
  - **Distribución:** \* Primeros 2 metros: Un orificio cada 20 cm.
    - Metros intermedios: Un orificio cada 15 cm.
    - Últimos 2 metros: Un orificio cada 10 cm.
  - **Orientación:** Los orificios deben perforarse a las **"10 y a las 2"** (en posición de reloj) para que el vapor salga en diagonal hacia arriba y no directamente hacia el suelo ni verticalmente (donde el bagazo podría tapparlos).
- 

## 3. Instalación y Protección (Cama de Vapor)

Debido a que vas a cargar 20,000 kg, el peso aplastaría las tuberías si se dejan expuestas.

1. **Canales en el piso:** Crea zanjas en el piso de piedra volcánica donde se alojarán los tubos.
  2. **Rejillas de protección:** Cubre las zanjas con rejillas de **acero inoxidable 304 o 316** de grueso calibre (mínimo 1/4"). Esto permite que el vapor suba pero evita que el peso del agave toque los tubos.
  3. **Trampas de condensado:** La tubería principal debe tener una ligera inclinación hacia afuera del horno con una **trampa de vapor** para eliminar el agua condensada antes de que entre al horno, asegurando que entre "vapor seco".
- 

## 4. Cálculo de Flujo y Presión

Para 20 toneladas, la caldera de **50-60 HP** enviará vapor a unos 6 kg/cm<sup>2</sup> en la línea principal, pero dentro del horno queremos una presión baja y constante.

- **Velocidad de inyección:** Durante las primeras 4 horas, se abren las válvulas al 100% para desplazar el aire frío y calentar la piedra volcánica.
- **Mantenimiento:** Una vez alcanzados los 90°C – 95°C en el centro del horno, se reduce el flujo.
- **Sensores Críticos:** Debes instalar **3 termopares** (sensores de temperatura) tipo K con fundas de acero inoxidable:
  - Uno en la parte superior (zona más caliente).
  - Uno cerca del piso.
  - **El más importante:** Uno de sonda larga que penetre **1.5 metros hacia el centro de la carga de agave**. La cocción no termina hasta que el corazón del horno marque al menos 85°C por varias horas.

## 5. Resumen de Materiales para el Sistema de Vapor

Componente	Cantidad Est.	Especificación
<b>Tubo Principal</b>	4 metros	Acero Inox 316L, 3" Cédula 40
<b>Flautas (Ramales)</b>	24 metros	Acero Inox 316L, 1.5" Cédula 40
<b>Válvulas de Globo</b>	2 piezas	Acero Inoxidable (para control fino de vapor)
<b>Manómetros</b>	2 piezas	Rango 0-100 psi (entrada) y 0-30 psi (horno)
<b>Rejillas de Piso</b>	6 metros	Solera de Inox de 1" x 1/4"

**Diseño del diagrama de flujo de las válvulas exteriores para controlar de forma independiente cada flauta y así poder dirigir el calor si detectas zonas frías.**

Para gestionar **20 toneladas** de agave, el control externo debe ser preciso. Si el sensor del lado derecho marca 70°C mientras el izquierdo ya está en 90°C, necesitas poder cerrar o abrir líneas específicas sin detener todo el proceso.

Aquí tienes el diseño del **Cabezal de Control de Vapor (Manifold)** y su lógica de operación.

### 1. Diseño del Cabezal de Distribución (Manifold)

El vapor llega de la caldera por una línea principal y se divide en 4 estaciones de control independientes, una para cada flauta del horno.

## Configuración de la Estación de Control:

Cada una de las 4 líneas debe tener la siguiente secuencia de componentes (de afuera hacia adentro):

1. **Válvula de Corte Principal (Esfera o Compuerta):** Para apertura/cierre rápido o mantenimiento.
  2. **Válvula de Globo (Control Fino):** Esta es la más importante. A diferencia de las de esfera, la de globo permite regular el flujo (ej. dejarla al 25% de capacidad) para "emparejar" el calor en zonas que se calientan demasiado rápido.
  3. **Manómetro Individual:** Para verificar que la flauta no esté tapada por bagazo o mieles (si la presión sube en el manómetro pero la temperatura no en el horno, la flauta está obstruida).
  4. **Válvula Check (Retorno):** Evita que las mieles del agave retrocedan hacia la tubería principal cuando la caldera se apaga y se genera vacío.
- 

## 2. Diagrama de Flujo (Piping & Instrumentation Diagram)

El flujo se organiza de la siguiente manera:

- **Entrada de Vapor (Caldera):** Tubo de 3" → **Filtro de Y** (para atrapar sedimentos) → **Válvula Reductora de Presión** (para bajar de presión de caldera a presión de cocción).
  - **Cuerpo del Manifold:** Tubo de 4" (actúa como pulmón para estabilizar la presión).
  - **Salidas Independientes:**
    - **Línea A (Izquierda externa):** Controla el muro lateral izquierdo.
    - **Línea B (Izquierda interna):** Controla el centro-izquierda del horno.
    - **Línea C (Derecha interna):** Controla el centro-derecha del horno.
    - **Línea D (Derecha externa):** Controla el muro lateral derecho.
-

### 3. Lógica de Operación para Zonas Frías

Al operar un horno de 20 toneladas, usarás los sensores de temperatura (termopares) como tu guía:

Situación	Acción en el Manifold
<b>Arranque (Calentamiento)</b>	Abrir las 4 válvulas al 100% para purgar aire frío.
<b>Zona Central Fría</b>	Reducir flujo en líneas A y D (externas) al 40% y mantener B y C (internas) al 100%.
<b>Zona Trasera Fría</b>	Si el horno es muy largo, se debe dar más presión al cabezal para empujar el vapor al fondo de las flautas.
<b>Final de Cocción</b>	Cerrar gradualmente todas para iniciar la fase de "calor residual" con la piedra volcánica.

---

### 4. Sistema de Seguridad y Purga

Debido a que el vapor condensa y se convierte en agua líquida, el manifold debe incluir:

- **Trampa de Vapor Termodinámica:** Ubicada en el punto más bajo del cabezal principal. Su función es sacar el agua condensada automáticamente para que al abrir las válvulas no entre un "martillazo de agua" que pueda fracturar la piedra volcánica o dañar la tubería.
- **Purga de Aire:** Una válvula de eliminación de aire al final del cabezal para asegurar que el 100% de lo que entre al horno sea vapor saturado.

---

### 5. Especificaciones de Materiales (Exterior)

- **Aislamiento:** Todas las tuberías exteriores deben estar forradas con **lana de roca y chaqueta de aluminio**. Esto evita quemaduras al personal y ahorra hasta un 15% de combustible en la caldera.
- **Soportes:** El manifold debe estar montado sobre una estructura de acero independiente del muro del horno para permitir que la tubería se expanda sin empujar la mampostería.

## Detalle de la lista de instrumentos de medición (termómetros digitales y alarmas) para que se pueda monitorear todo desde un tablero central.

Para controlar un proceso de 20 toneladas, la intuición no es suficiente. Necesitas un **Tablero de Control Centralizado** que te permita ver el "corazón" del horno en tiempo real. La meta es asegurar la hidrólisis completa del almidón en azúcares fermentables sin quemar el agave.

Aquí tienes la lista detallada de instrumentos para tu panel de control:

---

### 1. Sensores de Temperatura (El Sistema Nervioso)

Para un horno de este volumen (3.5 m×6.0 m), necesitas monitorear múltiples puntos para detectar las "zonas frías" que mencionamos antes.

- **3 Termopares Tipo K Industriales (Sondas Largas):**
  - **Ubicación:** Insertados a través de tubos de protección (termopozos) en los muros laterales.
  - **Longitud:** 1.5 metros de penetración para llegar al centro de la carga de agave.
  - **Función:** Monitorear la temperatura interna del agave.
  - **2 Termopares Tipo K (Ambiente/Vapor):**
  - **Ubicación:** Uno en la parte más alta de la bóveda (donde se acumula el calor) y otro cerca del nivel del piso.
  - **Función:** Controlar la temperatura del vapor circulante.
- 

### 2. Pantallas y Controladores (El Cerebro)

En el tablero central, cada sensor debe ir conectado a un indicador digital.

- **5 Pirómetros Digitales (Indicadores de Temperatura):** Con pantalla LED de alta visibilidad. Deben tener salida de relevador para alarmas.
- **1 Registrador de Datos (Data Logger):** Un dispositivo que grabe las temperaturas durante las 72 horas del ciclo. Esto es vital para el control de calidad y para obtener certificaciones (como la del CRT en México).

- **1 Manómetro de Carátula (Presión de Horno):** Rango de 0-30 psi, con sello químico de acero inoxidable para que las mieles no tapen el instrumento.
- 

### 3. Sistema de Alarmas (Seguridad y Calidad)

El tablero debe emitir señales visuales y auditivas para alertar al operador:

- **Alarma de Temperatura Crítica (Alta):** Se activa si el vapor supera los 105°C (riesgo de caramelización/quemado de azúcares).
  - **Alarma de Temperatura de Cocción (Baja):** Se activa si durante la fase de cocción activa la temperatura baja de 85°C (indica falta de presión de vapor o fuga).
  - **Torreta de Iluminación Industrial:**
  - **Verde:** Proceso en rango óptimo.
  - **Amarilla:** Fase de reposo/enfriamiento.
  - **Roja + Sirena:** Sobrepresión o sobrecalentamiento.
- 

### 4. Diagrama del Tablero de Control

El tablero debe ser de acero inoxidable (NEMA 4X) para resistir la humedad y la corrosión del entorno de la destilería.

Instrumento	Cantidad	Función Técnica
<b>Controlador PID</b>	1	Para automatizar la válvula solenoide de vapor (opcional).
<b>Indicadores Digitales</b>	4	Lectura de las 4 zonas del horno.
<b>Botón de Paro de Emergencia</b>	1	Corta el flujo de vapor desde la caldera inmediatamente.
<b>Selector de Válvulas</b>	4	Interruptores para abrir/cerrar solenoides de las flautas.

---

## 5. Recomendación Pro: Monitoreo Remoto

Dado que la cocción dura 3 días, es muy útil instalar un módulo **Wi-Fi o Ethernet** en el tablero. Esto te permite:

1. Recibir una alerta en tu celular si la caldera se apaga en la madrugada.
2. Ver la gráfica de cocción en tiempo real desde cualquier lugar.

## Detalle las especificaciones de la instalación eléctrica y el tipo de válvulas solenoide (automatizadas) que podrías usar para controlar el vapor desde este tablero.

Para automatizar un horno de 20 toneladas, la instalación eléctrica debe ser de grado industrial y "clima tropicalizado", ya que el vapor y la acidez del agave crean un ambiente altamente corrosivo.

Aquí tienes el diseño para integrar el control automatizado entre el tablero y las líneas de vapor.

---

### 1. Especificaciones de la Instalación Eléctrica

Debido a la presencia de agua y calor, la seguridad es la prioridad número uno.

- **Canalización:** Utiliza tubería **Conduit de Aluminio Pared Gruesa** o **Acero Inoxidable**. Evita el acero galvanizado simple, ya que el vapor ácido del agave lo corroe en meses.
  - **Cableado:** Cable con aislamiento **THWN-2** (resistente al calor y la humedad) o cables con forro de **Silicón/Fibra de Vidrio** para las zonas cercanas a los muros del horno, donde la temperatura ambiente será alta.
  - **Sellos EYS:** Es obligatorio colocar sellos antiexplosión o sellos de paso rellenos de compuesto sellante al entrar al tablero y al salir hacia las válvulas. Esto evita que el vapor viaje por dentro de la tubería y llegue a la electrónica del tablero.
  - **Voltaje de Control:** Se recomienda operar todo el control a **24V DC**. Es mucho más seguro para los operarios en ambientes húmedos y reduce las interferencias en los sensores de temperatura.
-

## 2. Válvulas Solenoide para Vapor

Para controlar las 4 flautas de forma independiente desde el tablero, necesitas válvulas que soporten **vapor saturado** y que no se peguen por los sedimentos.

- **Tipo de Válvula:** Válvula de **Asiento Inclinado (Angle Seat Valve)** con actuador neumático o solenoide de acción directa.
- *¿Por qué?* Las válvulas de solenoide de diafragma común fallan rápido con el vapor. Las de asiento inclinado son mucho más robustas y manejan mejor los diferenciales de presión.
- **Material del Cuerpo:** Acero Inoxidable **316L**.
- **Sellos Internos:** **PTFE (Teflón)** virgen o reforzado, capaz de soportar hasta 180°C.
- **Función:** Normalmente Cerrada (NC). En caso de una falla eléctrica total, las válvulas se cierran por seguridad, evitando que el horno se sobrecaliente sin supervisión.

## 3. Integración Tablero - Válvulas (Lógica PID)

Para que el control sea realmente automático, puedes usar **Controladores PID** en el tablero:

1. **Modo Automático:** Tú programas la temperatura deseada (ej. 92°C). El controlador lee los termopares de 1.5m (centro del agave) y abre/cierra las válvulas solenoide automáticamente para mantener el calor exacto.
2. **Modo Manual:** Desde el tablero, puedes forzar la apertura de la "Flauta B" si notas que el lado izquierdo central está frío, sin afectar el resto del horno.

## 4. Lista de Componentes Críticos

Componente	Especificación Técnica	Función
<b>Fuente de Poder</b>	Entrada 110/220V - Salida 24V DC (Riel DIN)	Energiza sensores y válvulas de forma segura.
<b>Relevadores de Estado Sólido</b>	10A mínimos	Reciben la señal del controlador y activan las válvulas.

Componente	Especificación Técnica	Función
<b>Válvulas Solenoide (4x)</b>	1.5" NPT, Acero Inox 316, Sellos PTFE	Control de flujo para cada una de las 4 flautas.
<b>Cajas de Conexión</b>	Acero Inoxidable NEMA 4X	Protegen las uniones de cables cerca del horno.

---

## 5. Recomendación de Mantenimiento (El "bypass")

Incluso con las mejores válvulas automáticas, el vapor es agresivo. **Nunca instales la solenoide sola.**

- Diseña un **arreglo de bypass** con tres válvulas manuales de globo. Si una solenoide falla a mitad de una cocción de 20 toneladas, puedes abrir el bypass manualmente para no perder la carga, mientras reparas la automática.

---

### ¿Qué sigue?

Con la estructura, la cimentación, el vapor y el control listos, solo falta el plan de "**Curado del Horno**". La piedra volcánica y el mortero refractario nuevos contienen mucha humedad; si los calientas de golpe con 20 toneladas, el vapor interno podría fracturar los muros.

# Protocolo de curado y la primera secuencia de encendido para asegurar la longevidad de la inversión.

El **curado** es el paso más crítico después de la construcción. Un horno de 20 toneladas de agave representa una inversión masiva, y la mampostería (especialmente la piedra volcánica y el mortero refractario) retiene mucha "agua de construcción".

Si calientas el horno a 100°C de golpe, esa agua atrapada se convertirá en vapor dentro de los muros, creando presiones internas que causarán grietas estructurales o incluso el desprendimiento de la piedra (estallamiento).

Aquí tienes el protocolo de curado y la secuencia de primera puesta en marcha:

---

## 1. Fase de Secado Natural (Días 1-7)

Antes de introducir vapor, el horno debe "sudar" por sí mismo.

- **Acción:** Deja las puertas y cualquier ventilación abiertas por una semana completa.
  - **Objetivo:** Permitir que el fraguado del cemento y el mortero refractario termine de forma natural a temperatura ambiente.
  - **Recomendación:** Puedes colocar ventiladores industriales en la puerta para forzar la circulación de aire seco.
- 

## 2. Protocolo de Curado Térmico (Gradual)

Este proceso toma **4 días** y se realiza con el horno **vacío**.

Día	Objetivo de Temperatura	Duración	Procedimiento
<b>Día 1</b>	40°C–50°C	8 horas	Inyecciones de vapor de 5 min cada hora. Solo para entibiar la piedra.
<b>Día 2</b>	60°C–70°C	10 horas	Mantener flujo de vapor mínimo constante. La piedra debe empezar a soltar humedad.

Día	Objetivo de Temperatura	Duración	Procedimiento
<b>Día 3</b>	85°C–90°C	12 horas	Calentamiento sostenido. Aquí el mortero refractario se "templa".
<b>Día 4</b>	Enfriamiento lento	24 horas	Cerrar vapor y dejar enfriar con puertas cerradas hasta temperatura ambiente.

**Nota Crítica:** Durante el curado, verás que los muros "lloran" agua por fuera o por las juntas. Es normal. No pases a la siguiente fase hasta que dejen de escurrir.

---

### 3. Primera Secuencia de Encendido con Carga (20 Toneladas)

Una vez curado, el primer cocimiento real debe ser monitoreado minuto a minuto.

#### Paso 1: Inspección de Seguridad

- Verifica que las flautas de vapor no tengan residuos de construcción (soplelas con aire comprimido primero).
- Asegúrate de que las válvulas de drenaje de mieles funcionen y estén en la posición de "Mieles Amargas".

#### Paso 2: El "Purga-Aire" (Hora 0 - 2)

- Abre las 4 flautas al 100%.
- Deja la válvula de purga superior del horno abierta hasta que veas salir vapor blanco constante. Esto expulsa el aire frío del interior, que es un aislante que impide la cocción uniforme.

#### Paso 3: El Descerado (Hora 2 - 6)

- Mantén la temperatura entre 80°C y 85°C.
- Observa el drenaje. Las primeras mieles saldrán negras y espesas (ceras y tierra). Una vez que el líquido sea más claro y empiece a oler a agave cocido, cambia la válvula hacia el tanque de recolección de **mieles dulces**.

#### Paso 4: Cocción Estabilizada (Hora 6 - 30)

- Sube la temperatura a 92°C–95°C.
- Usa el **Tablero de Control** para ajustar las válvulas individuales. Si el termopar central (el de 1.5m) marca menos de 85°C, aumenta el flujo en las flautas internas (B y C).

#### Paso 5: El "Apagado" y Reposo (Hora 30 - 50)

- Corta el vapor. Aquí es donde la **pedra volcánica** justifica su costo. La inercia térmica mantendrá el horno arriba de 80°C por otras 15-20 horas sin gastar un solo gramo de gas en la caldera. Este reposo es el que desarrolla los mejores aromas.

---

## 4. Mantenimiento Preventivo Post-Cocción

- **Limpieza de Flautas:** Después de cada carga, inyecta un poco de vapor con el horno vacío para despejar los orificios de 1/8" de cualquier residuo de fibra o miel caramelizada.
- **Inspección de Juntas:** Revisa si hay grietas en el mortero. Si aparecen, séllalas de inmediato con **cemento refractario** para evitar que el vapor llegue al aislamiento de lana de roca.

---

### Resumen del Éxito

Tu horno está diseñado para durar 20 años o más si respetas el **enfriamiento lento**. Nunca arrojes agua fría al interior de un horno caliente para "apurar" la descarga, ya que el choque térmico fracturará la piedra volcánica instantáneamente.

# Cálculo del consumo de combustible de la caldera para estas 20 toneladas

Para calcular el consumo de combustible, debemos entender que una caldera de **60 HP** (que es la recomendada para 20 toneladas de agave en mampostería) no trabaja al 100% de su capacidad durante todo el ciclo. El consumo es intensivo al inicio y mínimo durante el mantenimiento de calor.

Consideraremos el uso de **Gas LP**, que es el estándar más común, aunque también daremos el equivalente en **Gas Natural**.

---

## 1. Demanda Térmica por Fases

Un ciclo típico de 30 horas de vaporización para 20 toneladas se divide así:

- **Fase de Levantamiento (Horas 1 a 6):** La caldera trabaja al 80-90% para calentar 20,000 kg de agave frío, 80,000 kg de mampostería y desplazar el aire.
  - **Fase de Cocción (Horas 7 a 30):** La caldera trabaja al 30-40% solo para compensar las pérdidas térmicas y mantener la hidrólisis.
- 

## 2. Cálculo de Consumo (Gas LP)

Una caldera de 60 HP consume aproximadamente **9.5 litros de Gas LP por cada hora de operación al 100% por cada 10 HP**.

- **Consumo nominal a plena carga (60 HP):** ~57 litros/hora.

**Estimación del ciclo de 30 horas:**

1. **Levantamiento (6 hrs):**  $6 \text{ hrs} \times 50 \text{ litros/hr} = 300 \text{ litros}$ .
  2. **Mantenimiento (24 hrs):**  $24 \text{ hrs} \times 20 \text{ litros/hr} = 480 \text{ litros}$ .
- **Total por hornada: 780 a 850 litros de Gas LP.**

**Nota de rendimiento:** Esto equivale a unos **40-42 litros de gas por tonelada de agave**. Si el horno está bien aislado (con los 10 cm de fibra que planeamos), podrías bajar hasta los 35 litros/tonelada.

---

### 3. Comparativa de Combustibles

Combustible	Consumo Est. por Hornada (20 Ton)	Unidad
<b>Gas LP</b>	820	Litros
<b>Gas Natural</b>	680	<i>m3</i>
<b>Diésel (Gasoil)</b>	550	Litros

### 4. Factores que Afectan tu Gasto (Eficiencia)

Para que no se te dispare el costo operativo, vigila estos tres puntos:

1. **Calidad del Vapor (Purga):** Si tu caldera "arrastra" mucha agua líquida (vapor húmedo), gastarás más combustible para calentar agua que no cocina eficientemente. Asegúrate de que la trampa de vapor en el manifold esté funcionando.
2. **Incrustaciones:** 1 mm de sarro en los tubos internos de la caldera aumenta el consumo de combustible en un **10%**. El suavizador de agua no es opcional, es obligatorio.
3. **Temperatura de Retorno:** Si puedes precalentar el agua que entra a la caldera (usando un economizador o recuperando calor), reducirás el consumo de gas significativamente.

### 5. El "Costo Escondido": La Purga de Mieles Amargas

Recuerda que en las primeras 4-6 horas tiras vapor (en forma de condensado y mieles amargas). Si tu caldera es de 60 HP, estarás evaporando cerca de **900 kg de agua por hora**.

- **Consejo:** No abras las válvulas al máximo innecesariamente durante el descerado; solo lo suficiente para que el flujo de mieles sea constante.

### Resumen Económico Proyectado

Si el litro de Gas LP está en un promedio de **\$10.50 MXN**, el costo de energía para cocer 20 toneladas será de aproximadamente **\$8,600 a \$9,000 MXN**.

- Esto representa un costo energético de **\$0.45 MXN por kilo de agave azul**.

AGAVE PRODUCTORES