



BALANCES DE VAPOR Y ENERGÍA EN INGENIOS AZUCAREROS

PRESENTADO EN EL WORKSHOP CONGRESO DE ATACA 2017

ING. JOSÉ GUADALUPE MENDOZA
CONSULTORES DE INGENIOS AZUCAREROS, S.A.
AGOSTO 2017

ANTES DE HABLAR DE ENERGÍA



**NO PODEMOS PRINCIPIAR SIN ENUNCIAR LAS DOS
LEYES DE LA TERMODINAMICA**

PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

ESTA ES LA LEY DE LA CONSERVACION DE LA ENERGÍA QUE ESTABLECE QUE LA ENERGÍA NO SE CREA NI SE DESTRUYE, SOLO SE TRANSFORMA



SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA

ESTA LEY ESTABLECE QUE ES IMPOSIBLE CONSEGUIR UN CAMBIO O UNA SERIE DE CAMBIOS RESULTANTES DE LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA COMO CALOR DE UN PUNTO DE BAJA A ALTA TEMPERATURA. EN OTRAS PALABRAS EL CALOR POR SI MISMO DE BAJA A ALTA TEMPERATURA.



DIFERENCIA ENTRE COGENERACION Y GENERACION CON BIOMASA



- ❖ **COGENERACIÓN** es cuando el vapor que se utiliza para producir energía eléctrica luego se utiliza en un proceso para aprovechar el calor latente del cambio de estado gaseoso a líquido.
- ❖ **GENERACIÓN CON BIOMASA** es cuando se utiliza para producir energía eléctrica, no se utiliza para ningún proceso y su calor latente de gaseoso a líquido es absorbido por un condensador.

INGENIO DE LAS CAVERNAS



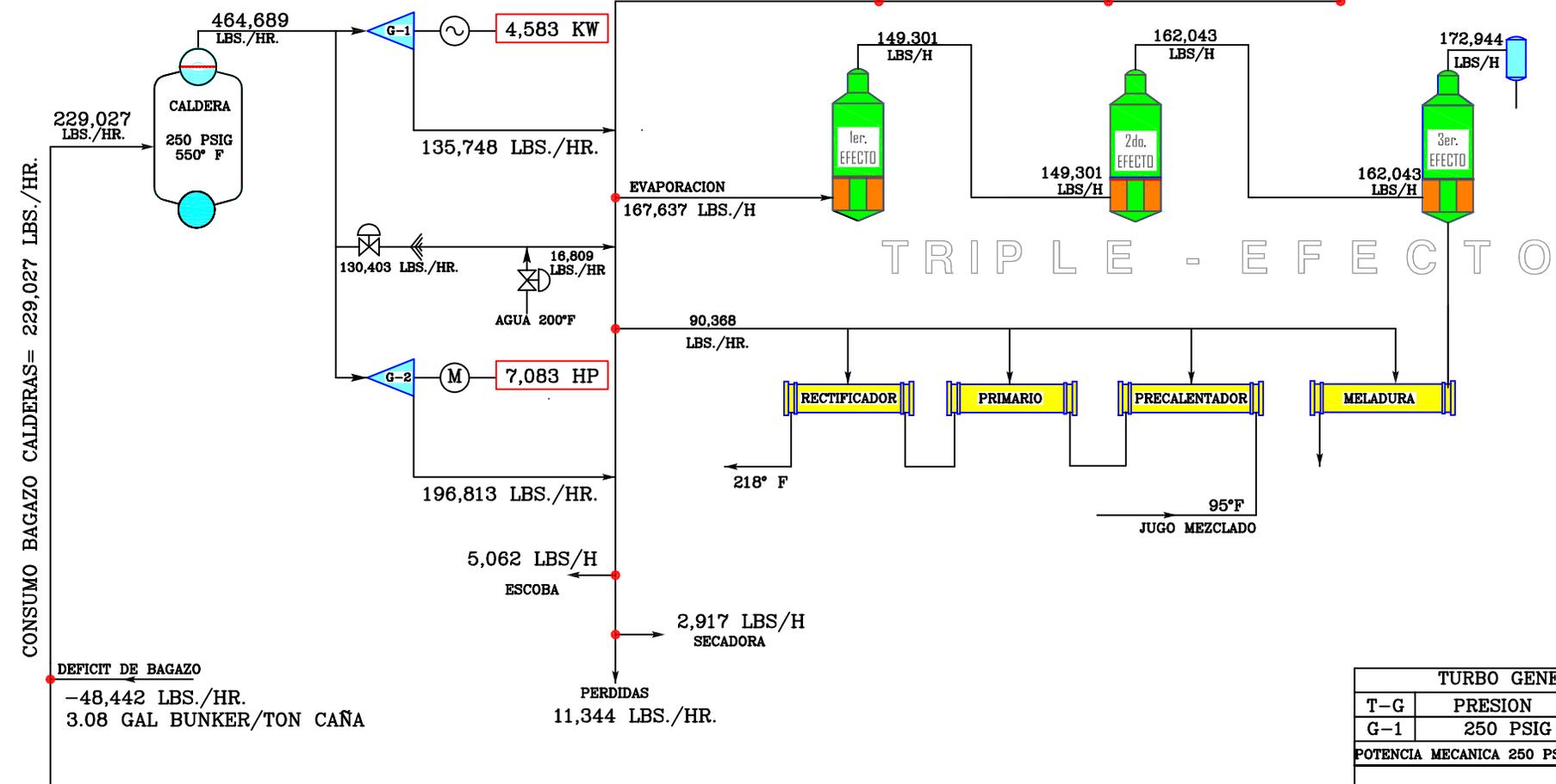
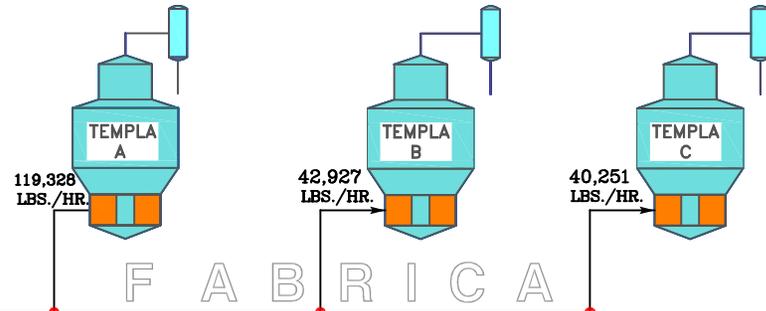
La siguiente gráfica nos muestra cómo era el balance de masa y energía en la mayoría de los ingenios de Guatemala y Centroamérica en el año de 1974 cuando ingresamos un buen grupo de ingenieros guatemaltecos a la industria azucarera. La mayoría de calderas trabajaba entre 150 Psig y 200 Psig y vapor saturado o ligeramente sobrecalentado.

Ingenios trabajando en triple efecto, con vapor de escape para evaporadores tachos y calentadores con un gran consumo de vapor y calderas ineficientes, por lo que se hacía necesario quemar Bunker C para conseguir la producción de vapor necesaria para el proceso. Debido a que el consumo de energía eléctrica era limitado se hacía necesario usar válvulas reductoras para pasar vapor de la producción de las calderas directamente a la línea de escape para completar el vapor de proceso.

Debido a lo anterior la aplicación de agua de imbibición era limitada 12% con valores de pol de bagazo altísimos, hasta 4.5 en algunas partes y un rendimiento industrial entre 150 a 170 lbs. azúcar/tonelada corta.

INGENIO DE LAS CAVERNAS
 PRODUCCION DE AZUCAR Y MELAZA
 MOLIENDO 10,000 T.C.D.
 CALDERAS A 250 PSIG/550°F PARA TURBO DE ESCAPE Y MOLINOS

IMBIBICION 12%
 POL DE BAGAZO 4.5%



TURBO GENERADORES		
T-G	PRESION	GENERACION
G-1	250 PSIG	4,583
POTENCIA MECANICA 250 PSIG		7,083 HP
CONSUMO TOTAL KW.		4,583
VENTA EN KW		0
VENTA ESPECIFICA KW/TC		0

INGENIO DE LA EDAD MEDIA

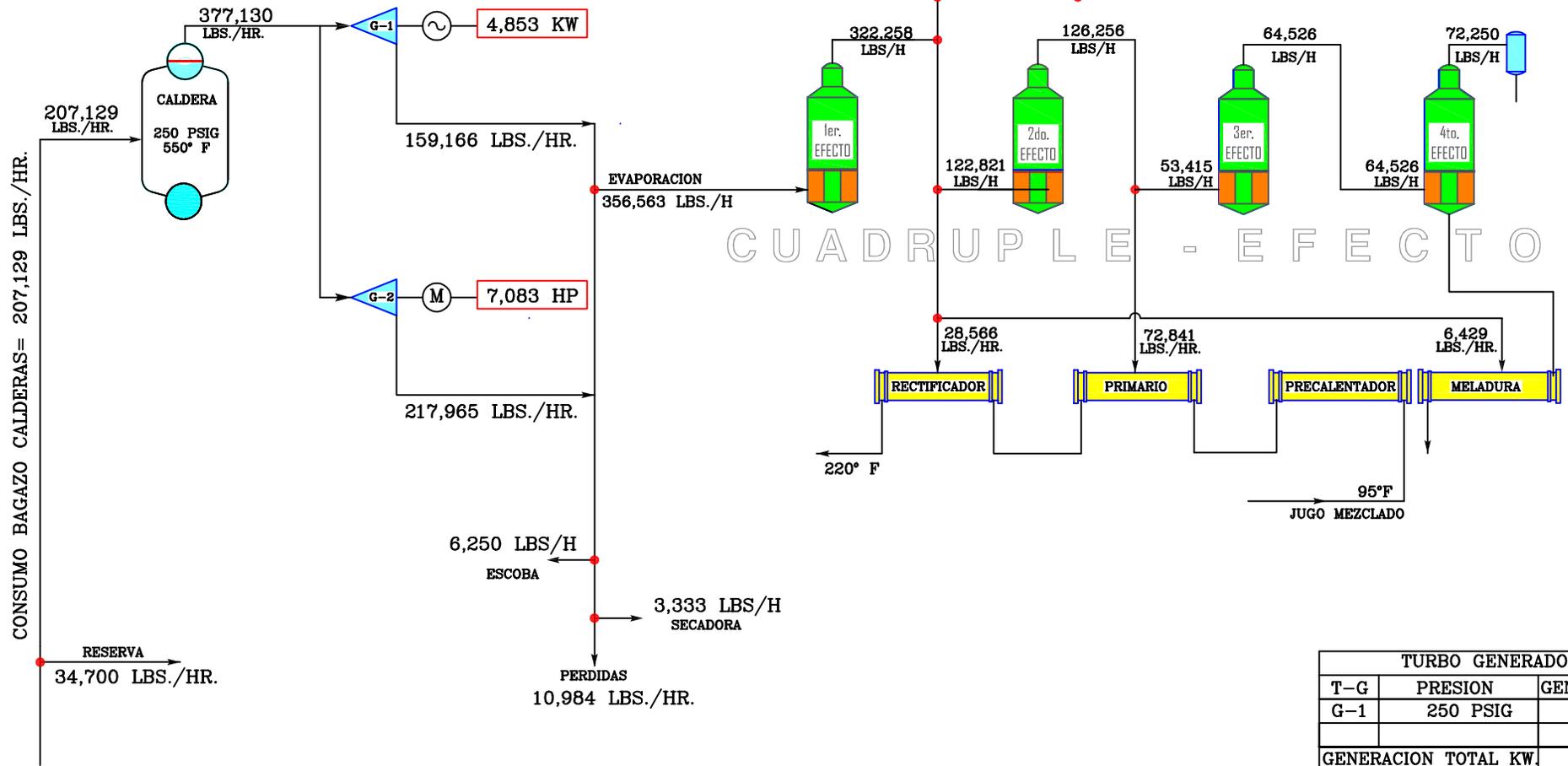


Con la llegada del Ingeniero Miguel Mariano Rodriguez y el surgimiento de CIASA, se iniciaron los primeros cambios con el objeto de reducir el consumo de vapor para balancear el bagazo producido con el vapor necesario para el ingenio. Los pasos que se fueron dando durante los primeros años fueron los siguientes:

- ❖ Mejoramiento de la eficiencia de las calderas con la instalación de precalentadores de aire
- ❖ Sustitución del tiro natural por ventiladores de tiro inducido
- ❖ Aumento de presión y temperatura a 250 Psig. y 550° F
- ❖ Pasar de triple a cuádruple efecto
- ❖ Aumento de imbibición al 20% bajando el pol del bagazo a 2.4%
- ❖ Calentamiento calentador rectificador y cocimiento en los tachos con vapor de primer efecto
- ❖ Calentamiento en calentador primario con vapor de segundo efecto
- ❖ Aislamiento en líneas de vapor

INGENIO DE LA EDAD MEDIA
 PRODUCCION DE AZUCAR Y MELAZA
 MOLIENDO 10,000 T.C.D.
 CALDERAS A 250 PSIG/550°F PARA TURBO DE ESCAPE Y MOLINOS

IMBIBICION 20%
 POL DE BAGAZO 2.4%



TURBO GENERADORES		
T-G	PRESION	GENERACION
G-1	250 PSIG	4,853
GENERACION TOTAL KW.		4,853
CONSUMO TOTAL KW.		4,853
VENTA EN KW		0
VENTA ESPECIFICA KW/TC		0

EFICIENCIA Y CONSUMO ESPECÍFICO



Es importante antes de continuar con la exposición introducir EL CONCEPTO ENTRE EFICIENCIA Y CONSUMO ESPECÍFICO.

Es muy común escuchar que una turbina es mas eficiente porque trabaja a mayor presión "CRASO ERROR".

A continuación les presentamos el DIAGRAMA DE MOLLIERE con turbinas de contrapresión trabajando a diferentes presiones y temperaturas, todas con vapor de escape de 20 Psig. y con una eficiencia del 80%. La eficiencia es la misma en todas, pero el consumo específico será de la siguiente manera:

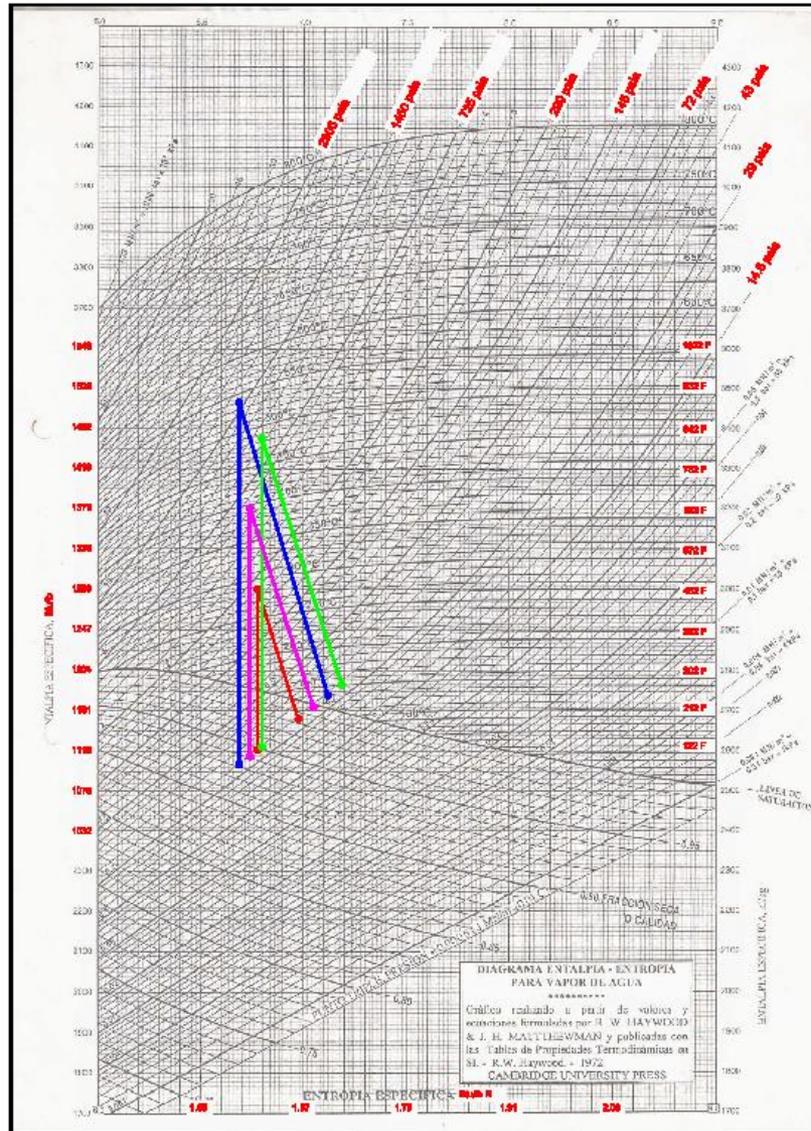
<u>PRESION ENTRADA PSIG.</u>	<u>TEMP. DE ENTRADA °F</u>	<u>CONSUMO ESPECÍFICO LBS./Kw</u>
1,500	1,000	11.036
900	900	12.91
600	750	15.85
250	550	24.41

EFICIENCIA Y CONSUMO ESPECÍFICO



Lo anterior es debido a que la mayor energía que se gasta es para cambiar de fase de estado líquido a gaseoso y después en sobrecalentar el vapor, lo cual aumenta considerablemente el salto entálpico, ya que desplaza la entalpia inicial y final hacia la izquierda en el diagrama de MOLLIER, lo cual aumenta su diferencial. Obviamente la caldera gastará un poco más de bagazo por libra de vapor producida pero el rendimiento en producción de kW aumenta enormemente.

DIAGRAMA MOLLIER



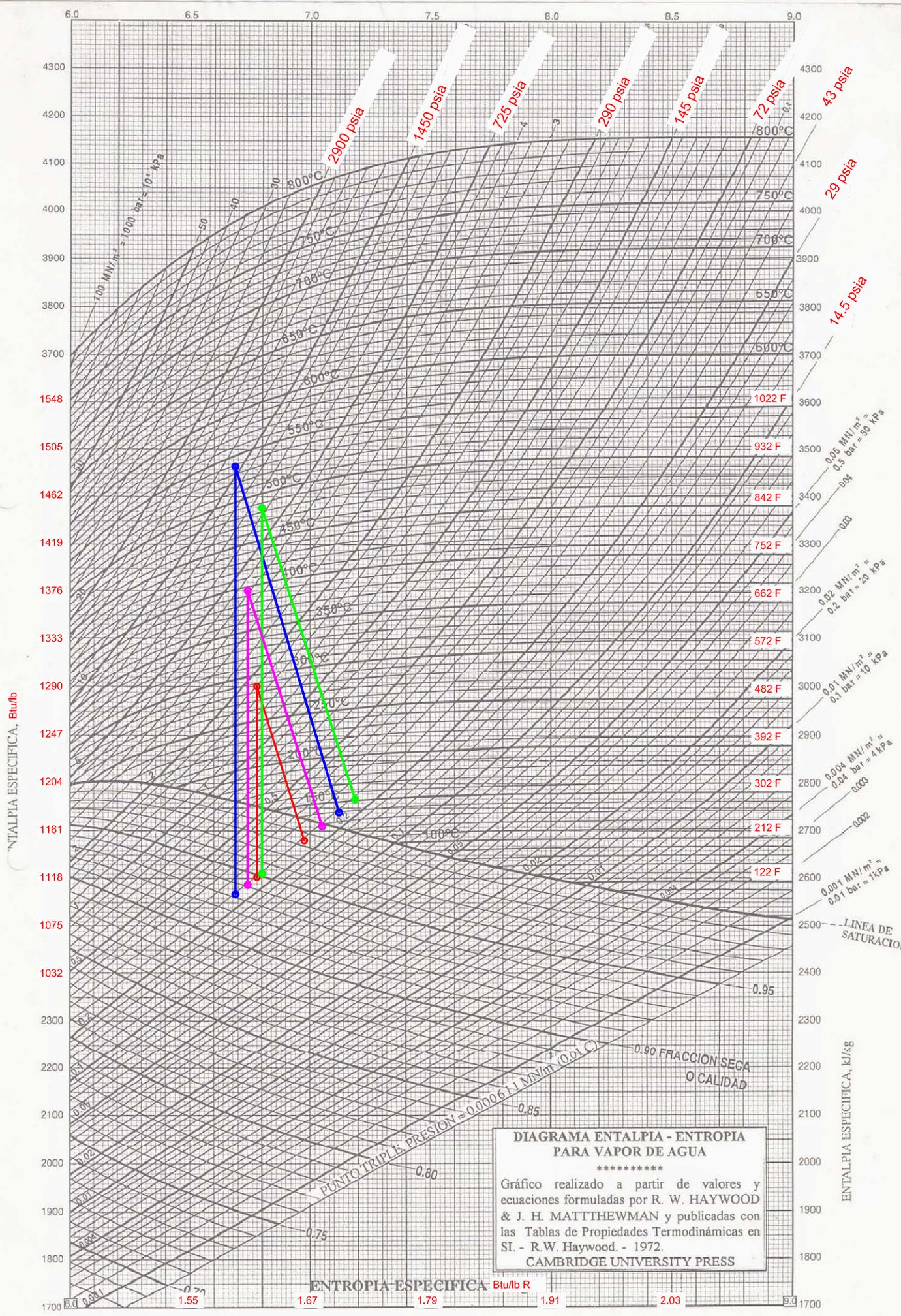


DIAGRAMA MOLLIER

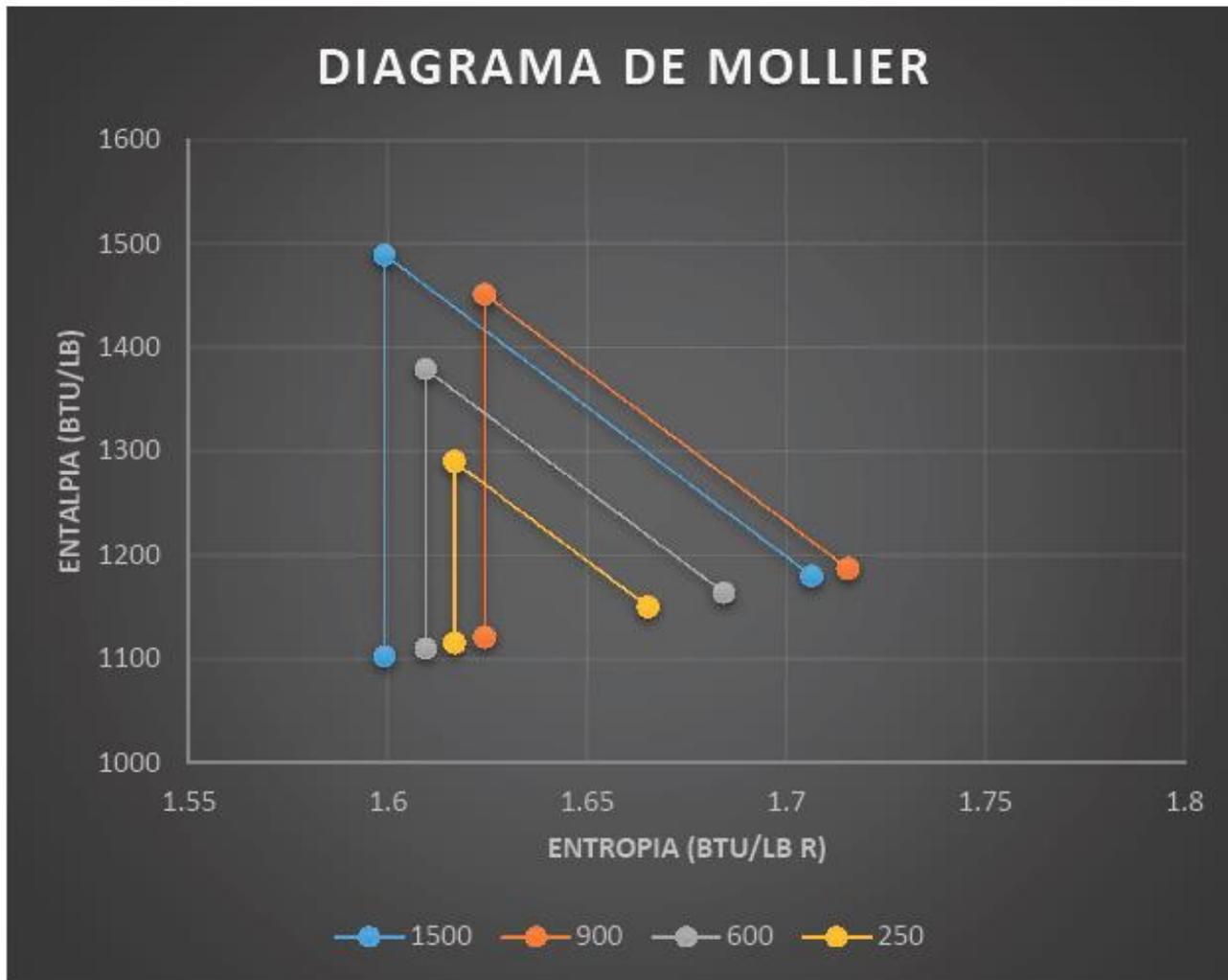
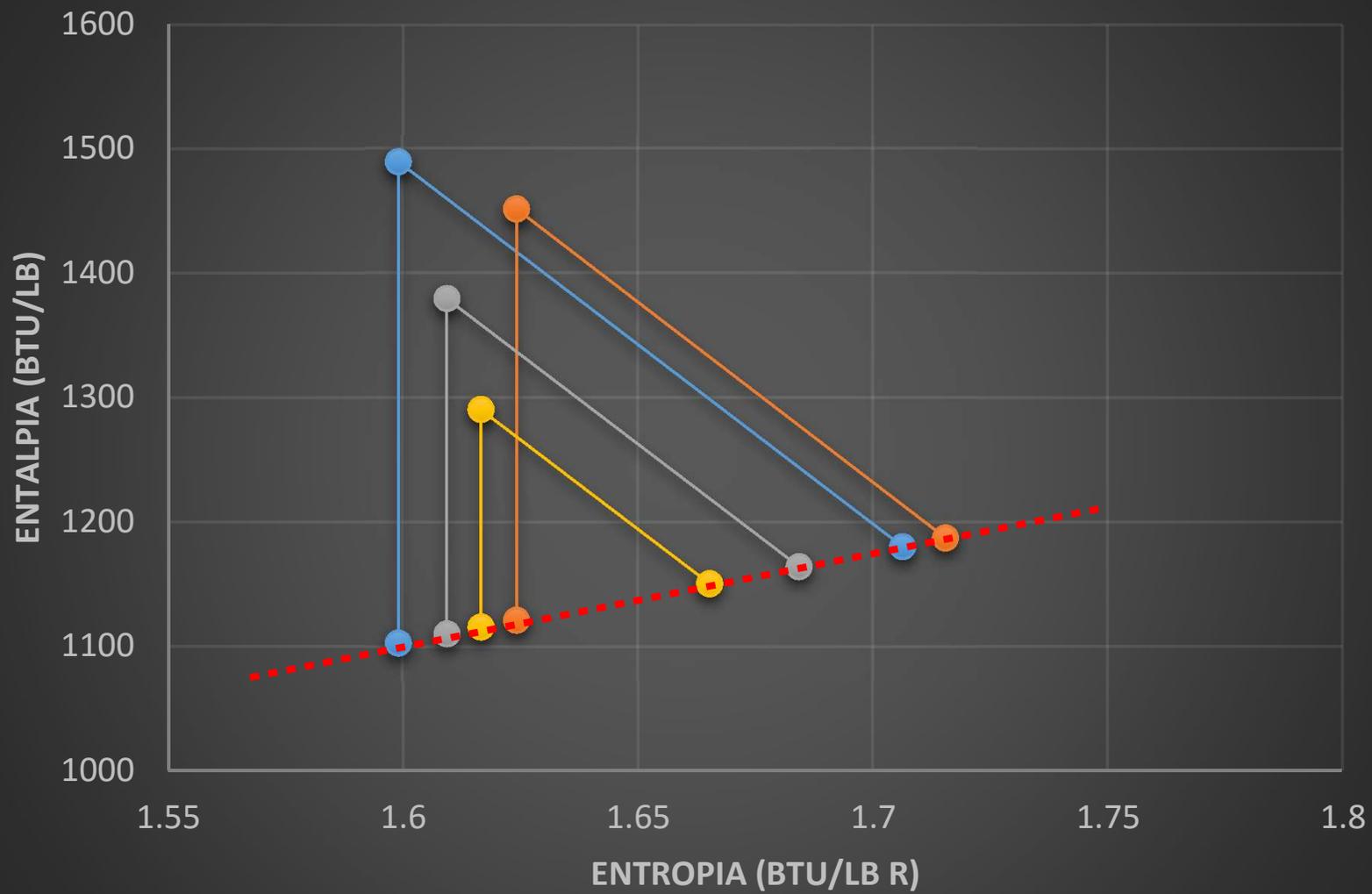


DIAGRAMA DE MOLLIER



—●— 1500 —●— 900 —●— 600 —●— 250

INGENIO EL RENACIMIENTO



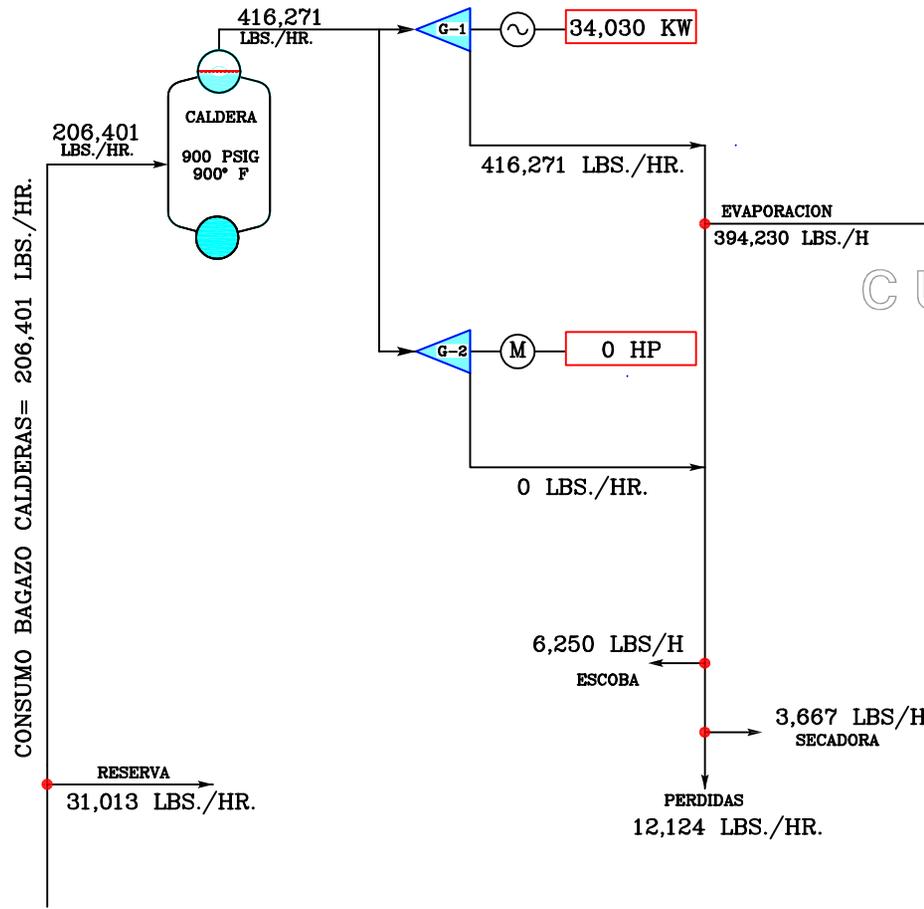
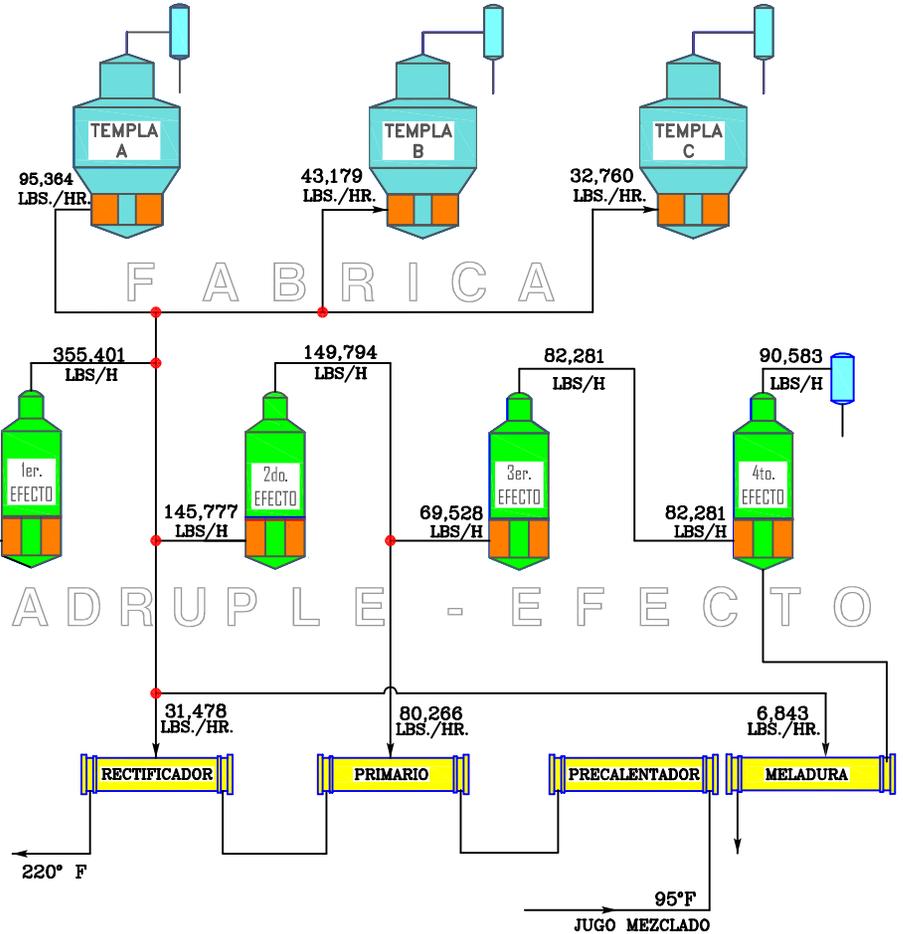
Con el transcurso del tiempo el precio de los combustibles fue aumentando en el mundo y por lo tanto el valor de la energía también hizo lo mismo, lo cual obligó a que las presiones y temperaturas se elevaran para conseguir el valor del kW a menor precio.

En Guatemala se dio la crisis energética al principio de los años noventa y desapareció el monopolio del estado para la producción de energía eléctrica por lo que los ingenios de azúcar pudieron entrar al mercado de la electricidad. El primer paso se dio subiendo la presión y temperatura del vapor y electrificando el ingenio totalmente, por lo que el vapor generado solo se utilizó en los turbogeneradores, que en ese tiempo eran turbos usados de escape de mayor eficiencia que las turbinas de molinos y picadoras y también de los turbos existentes que eran la mayoría de una sola etapa.

Para poder vender mayor energía se necesitaba que el ingenio consumiera mucho vapor para el proceso, para aumentar el vapor hacia los turbogeneradores y así generar y vender más a la red nacional, es decir vendiendo "CON COGENERACION PURA"

INGENIO DEL RENACIMIENTO
 PRODUCCION DE AZUCAR Y MELAZA
 MOLIENDO 10,000 T.C.D.
 CALDERAS A 900 PSIG/900°F PARA TURBO DE ESCAPE

IMBIBICION 30%
 POL DE BAGAZO 1.8%



CUADRUPLE - EFECTO

TURBO GENERADORES		
T-G	PRESION	GENERACION
G-1	900 PSIG	34,030
GENERACION TOTAL KW.		34,030
CONSUMO TOTAL KW.		10,000
VENTA EN KW		24,030
VENTA ESPECIFICA KW/TC		57.67

INGENIO CONTEMPORÁNEO



Con el avance de la automatización y de las oportunidades en el mercado eléctrico la industria azucarera se decidió a que además de cogenerar había la posibilidad de generar con biomasa subiendo la presión hasta 1500 Psig y la temperatura a 1000° F por medio de turbinas de condensación. Para esto era necesario cambiar el concepto de gastar mucho vapor en el proceso y por el contrario hacer el consumo de este lo mas económicamente posible para disponer de suficiente vapor para generar por condensación, para conseguir esto en la actualidad los arreglos de vapor en los ingenios han efectuado los siguientes cambios para conseguir hasta un 32% caña de consumo de vapor:

- ❖ Recuperación del calor de todos los condensados que no van hacia la caldera por medio del jugo mixto.
- ❖ Cuatro extracciones de vapor para calentamiento del jugo
- ❖ Quintuple efecto
- ❖ Cocimiento con segundo efecto en los tachos por batch y con tercer efecto en los tachos continuos.

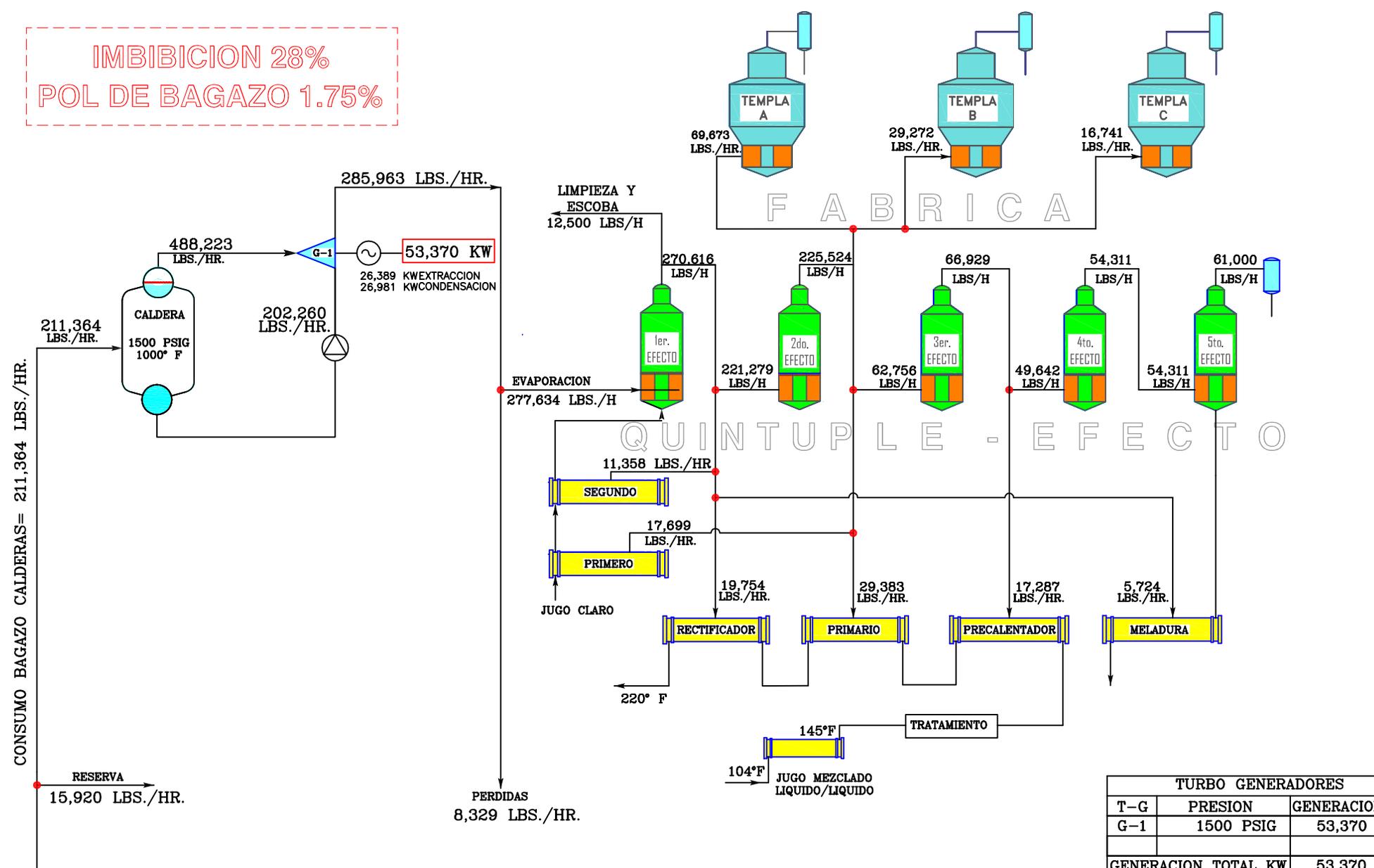
INGENIO CONTEMPORÁNEO



- ❖ Calentamiento del aire para secadoras con condensados.
- ❖ Limpieza de evaporadores con vegetal de segundo efecto
- ❖ Soplado de tachos con vegetal de primer efecto
- ❖ Mejora sustancial en el aislamiento de todas las tuberías de vapor
- ❖ Renovación y buen mantenimiento en todas las trampas de vapor
- ❖ Sustituir los eyectores de las torres de sulfitación por blowers
- ❖ Trabajar con meladura con 68° Bx y evitar la dilución de miel A y miel B
- ❖ Reducción de uso de agua en los tachos para el desarrollo de templas

INGENIO CONTEMPORANEO
 PRODUCCION DE AZUCAR Y MELAZA
 MOLIENDO 10,000 T.C.D.
 CALDERAS A 1500 PSIG/1,000°F PARA TURBO DE ESCAPE/CONDENSACION

IMBIBICION 28%
 POL DE BAGAZO 1.75%



TURBO GENERADORES		
T-G	PRESION	GENERACION
G-1	1500 PSIG	53,370
GENERACION TOTAL KW		53,370
CONSUMO TOTAL KW.		11,800
VENTA EN KW		41,570
VENTA ESPECIFICA KW/TC		99.77

CUADRO COMPARATIVO

EVOLUCION EN LA MEJORA DE BALANCE Y ENERGIA (Zafra de 1,350,000 Tons. Cortas)

PROYECCIONES	UNIDAD	CAVERNAS	EDAD MEDIA	RENACIMIENTO	CONTEMPORANEO
Capacidad Nominal	Tons.	10,000	10,000	10,000	10,000
Tiempo perdido	%	10.0	10.0	10	7
Promedio Molida Diaria	Tons.	9,000	9,000	9,000	9,300
Días de zafra	---	150.00	150.00	150.00	145.16
Fibra en Caña	%	13.00	13.00	13	13
Bagazo en Caña	%	30.54	28.38	27.90	27.27
Producción Bagazo / Zafra	Tons.	412,248	383,188	376,609	368,182
Bagazo para Interrupciones	Tons.	41,225	56,214	50,240	25,773
Bagazo Disponible	Tons.	371,023	326,974	326,370	342,409
Condiciones de Operación Vapor	Psig / °F	250/550	250/550	1	2
Sistema de Evaporación		<u>3er</u> - Efecto	<u>4to</u> - Efecto	<u>4to</u> - Efecto	<u>5to</u> - Efecto
Consumo de Vapor Ingenio	LBS/H.	479,833	377,131	416,272	285,963
Consumo Vapor por T. Condensación	LBS/H.	0	0	0	202,260
Ratio Prod. Vapor vrs. Bagazo escape	LBS.	1.67	1.87	2.07	2.20
Ratio Prod. Vapor vrs. Bagazo condens	LBS.	0.00	0.00	0.00	2.48
Bagazo Necesario / Zafra	Tons.	447,831	326,990	326,362	342,409
Bagazo sobrante tiempo No Zafra	Tons.	0	0	0	0
Generación Eléctrica por Escape	KW-H	4,583	4,583	34,030	26,389
Generación Eléctrica por Condensación	KW-H	0	0	0	26,981
Generación Total	KW-H	4,583	4,583	34,030	53,370
Consumo Operación Ingenio	KW-H	4,583	4,583	10,000	11,800
Consumo T. Condensación	KW-H	0	0	0	1,800
Potencia Disponible para Despacho	KW	0	0.00	24,030	41,570
Despacho Específico, Zafra	KW/Ton	0.00	0.00	58	100
Balance, Posible Despacho en Zafra	MWH	0	0	77,857	134,686
Posible Despacho no Zafra	MWH	0	0	0	0
Despacho Total por Zafra	MWH	0	872	77,857	134,686
Posible Despacho Específico Total	KW/Ton	0.00	0.00	57.67	99.77

**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**

