



ANÁLISIS DE CALDERAS MEDIANTE MÉTODOS ESTADÍSTICO Y REDES NEURONALES COMO GUÍA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Panelistas

Domingo Antonio Escalante Salazar.

Ingeniero Químico.

Aspirante a Doctor en Recursos Energéticos Renovables

Willian Vargas Silva

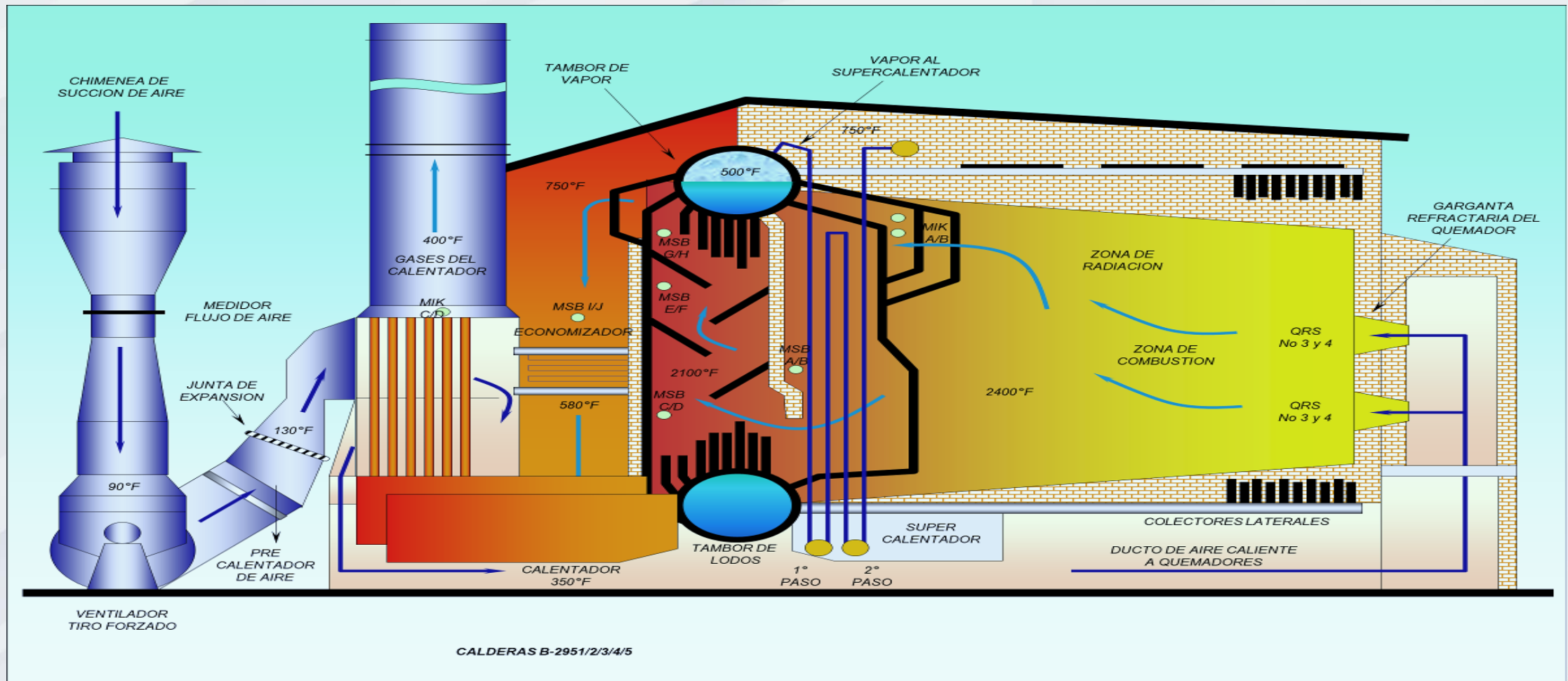
Ingeniero Electromecánico.

Magister Gerencia de Mantenimiento – UIS.

**VICEPRESIDENCIA DE REFINACIÓN Y
PROCESOS INDUSTRIALES
ECOPETROL**



CALDERAS ACUOTUBULARES



Esquema general de Caldera de Vapor tipo D. Fuente: autor.



OBJETIVOS

- Identificar la **variable problema, causante de las fallas recurrentes** por ruptura de las caldereras.
- Optimizar el funcionamiento operacional de las calderas utilizando técnicas de Inteligencia Artificial para **disminuir el consumo de gas combustible**, además de **reducir emisiones de CO2** a la atmósfera.
- Realizar un **modelo para predecir el índice de consumo de gas combustible** según el contexto operacional de las calderas.

Factores de falla en tuberías

Altas temperaturas $> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

Altas presiones $> 690\text{ Psig}$

Ambientes corrosivos

- Sulfurosos
- Acumulación de cenizas
- Agua con alta dureza
- Sedimentación de sales higroscópicas

Condición de combustión

Estado de quemadores,
distribución de llama y calidad del
gas combustible



- Sobre calentamiento por corto tiempo \rightarrow Falla a corto tiempo
- Desgaste por fatiga debido a cambios de presión y temperatura
- Termofluencia (o Creep) a temperatura mayor a 650°F
- Erosión por fricción o impacto con pérdida de material
- Vibraciones y resonancia
- Flue gas dew point corrosión (H_2SO_4) Temp $< 350^{\circ}\text{F}$
- Corrosión interna y externa asociada al ambiente

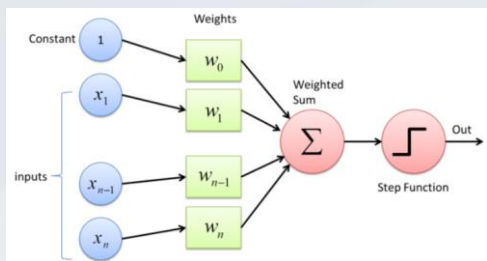
ESTADO DEL ARTE IA



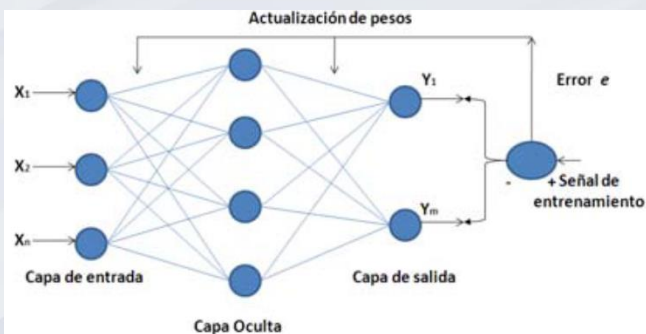
1936. Turing estudia el cerebro como una forma de ver el mundo de la computación



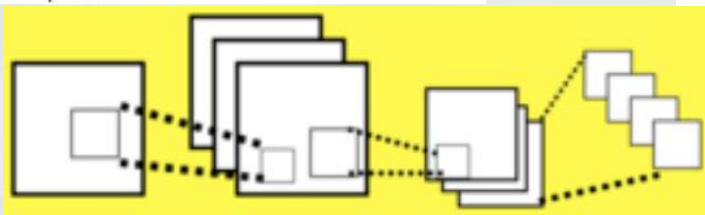
1943. Se crean las bases de las redes neuronales



1957. Perceptrón



1986. Retropropagación



1989. Redes neuronales convolucionales

"On computable numbers, with an application to the Entscheidungs problem"

1943 Lógica proposicional

Perceptron 1957

Backpropagation 1986

2005 Stanley ganador en DARPA

2018 Descubrimiento de exoplanetas alrededor de Kepler 80g y Kepler 90i

ACTUALIDAD La historia de la IA continúa...

1936

R.U.R., se utilizó por primera vez el término "robot"

1941

Z3, primera computadora programable

1943

1956

Primera Conferencia de Inteligencia Artificial en Dartmouth

1959

Adaline

1960-70

What Computers Can't Do

1974

Idea básica del algoritmo de aprendizaje de propagación hacia atrás

1982

Neural computation of decisions in optimization problems

1997

Gary Kasparov pierde ante "Deep Blue"

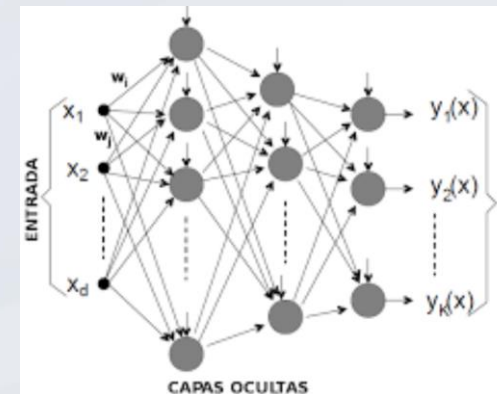
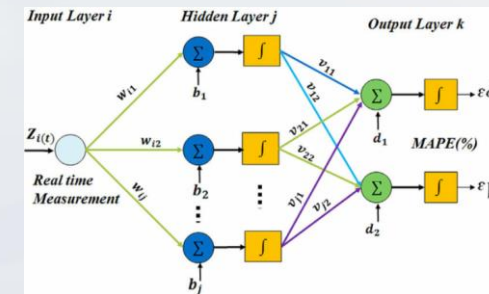
2011

Watson de IBM gana en el concurso Jeopardy!

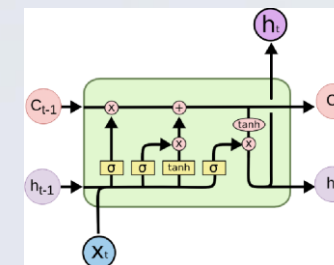
2017

2017. Deep Learning como principal tecnología

1965. Perceptrón multicapa



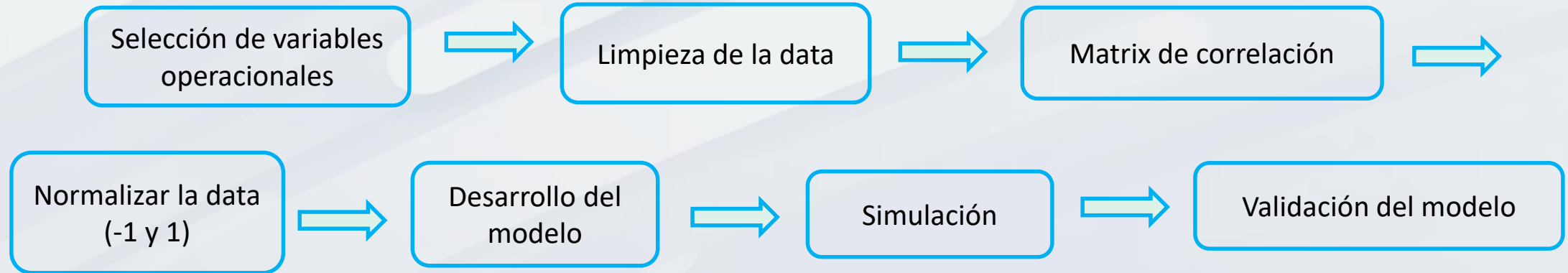
1980. Redes Feedforward



1997. Redes LSTM



METODOLOGÍA



¿Qué podemos lograr con la IA?

- ✓ Identificar las variables que causan **mayor impacto** sobre la variable objetivo, para **identificar la causa raíz del problema**.
- ✓ **Establecer el mejor punto de operación** del equipo para optimizar su disponibilidad y desempeño.
- ✓ **Predecir el comportamiento** de la variable objetivo de acuerdo a ciertas condiciones operacionales especificadas.
- ✓ **Aumentar la confiabilidad** de los procesos.
- ✓ **Validar Hipótesis**.

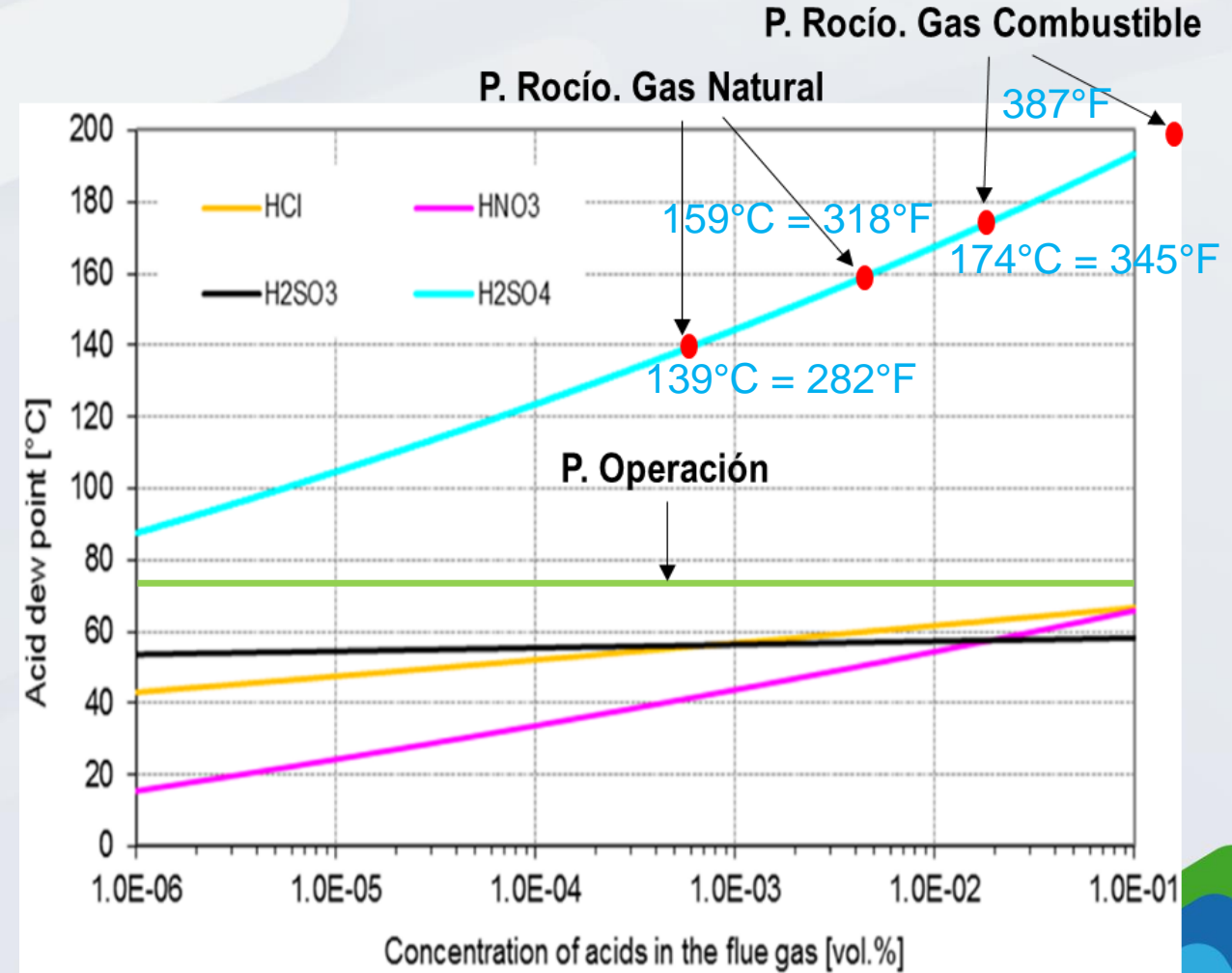


Matriz de Correlación de variables con métodos estadísticos

TAG	DESCRIPCIÓN	Media	Unidades	Correlación
FI_29520	Flujo de Aire de combustión	54675,438	Kpce/h	-0,307
AI_29504	% Oxígeno en gases	2,561	%	0,307
FI_29517	Flujo de Gas combustible	5875,355	Kpce/h	-0,328
FI_29518	Flujo de vapor	197,38	KLb/h	-0,475
FI_29519	Flujo de Agua de alimentación	194,77	KLb/h	-0,285
TI_29526	Temperatura Gas a chimenea	379,201	°F	-0,419
LIC_29504	Nivel del Domo	52,852	%	0,46
PI_29514	Presión Descarga ventilador	4,533	Pulg Agua	-0,228
PI_29564	Presión Gas a quemadores	9,708	Pulg Agua	-0,353
TI_29523	Temp Aire al calentador	167,386	°F	0,217
TI_29524	Temp Aire del calentador	357,134	°F	-0,644
TI_29522	Temp Gas al economizador	657,622	°F	-0,766
TI_29525	Temp Gas del economizador	520,404	°F	-0,416
TI_29527	Temperatura del Vapor	773,126	°F	0,8
TI_29528	Temp Agua del economizador	313,978	°F	-0,03
PI_29549	Presión Gases del economizador	0,138	Pulg Agua	-0,068
PI_29550	Presión Gases de chimenea	0,065	Pulg Agua	0,051
TI_29543	Temperatura Pared pantalla	665,835	°F	-0,269
TI_29544	Temperatura Banco principal	553,963	°F	-0,603
FI_19-18	Diferencial Agua - Vapor	-2,61	KLb/h	1

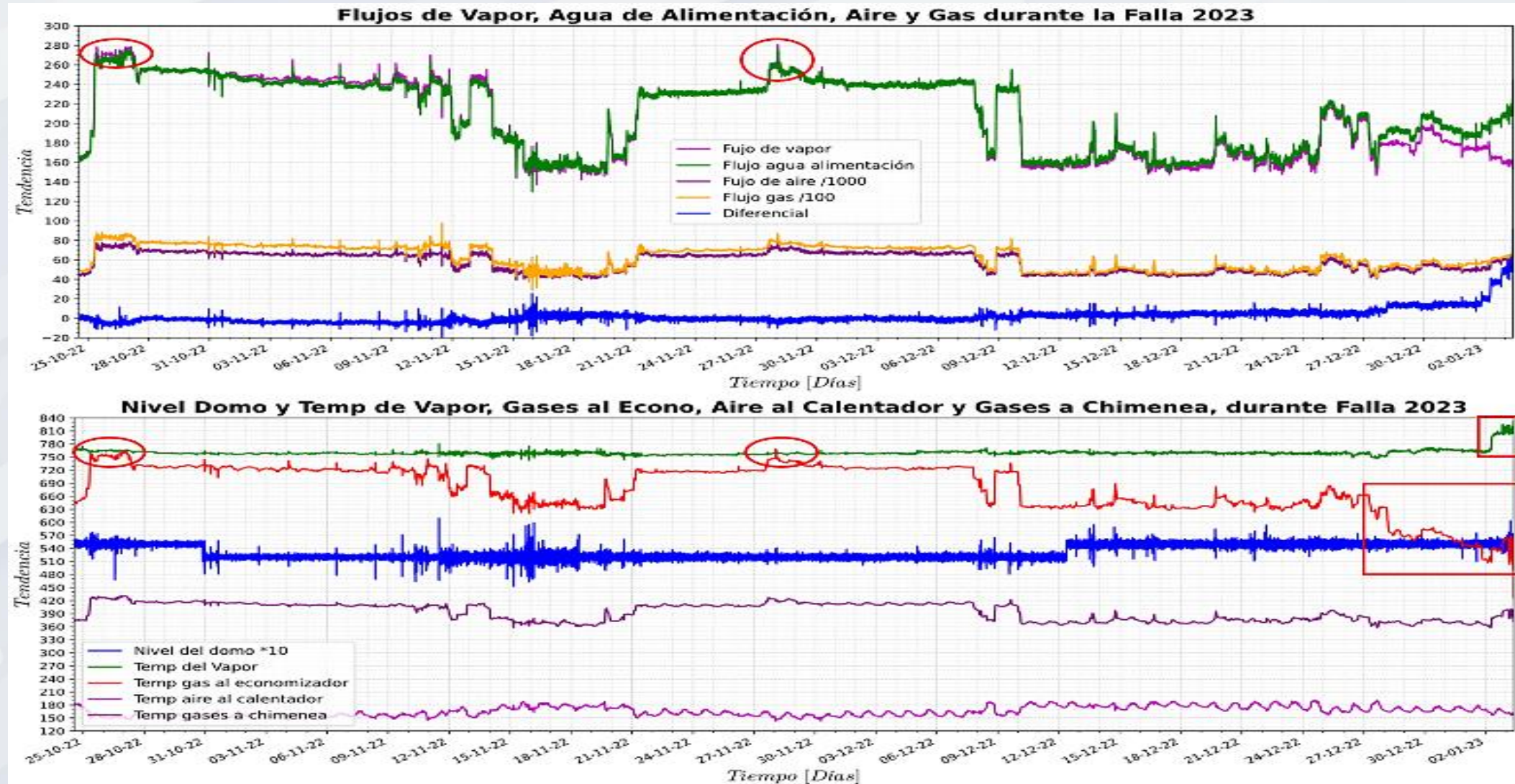


Formación de ácido Sulfúrico



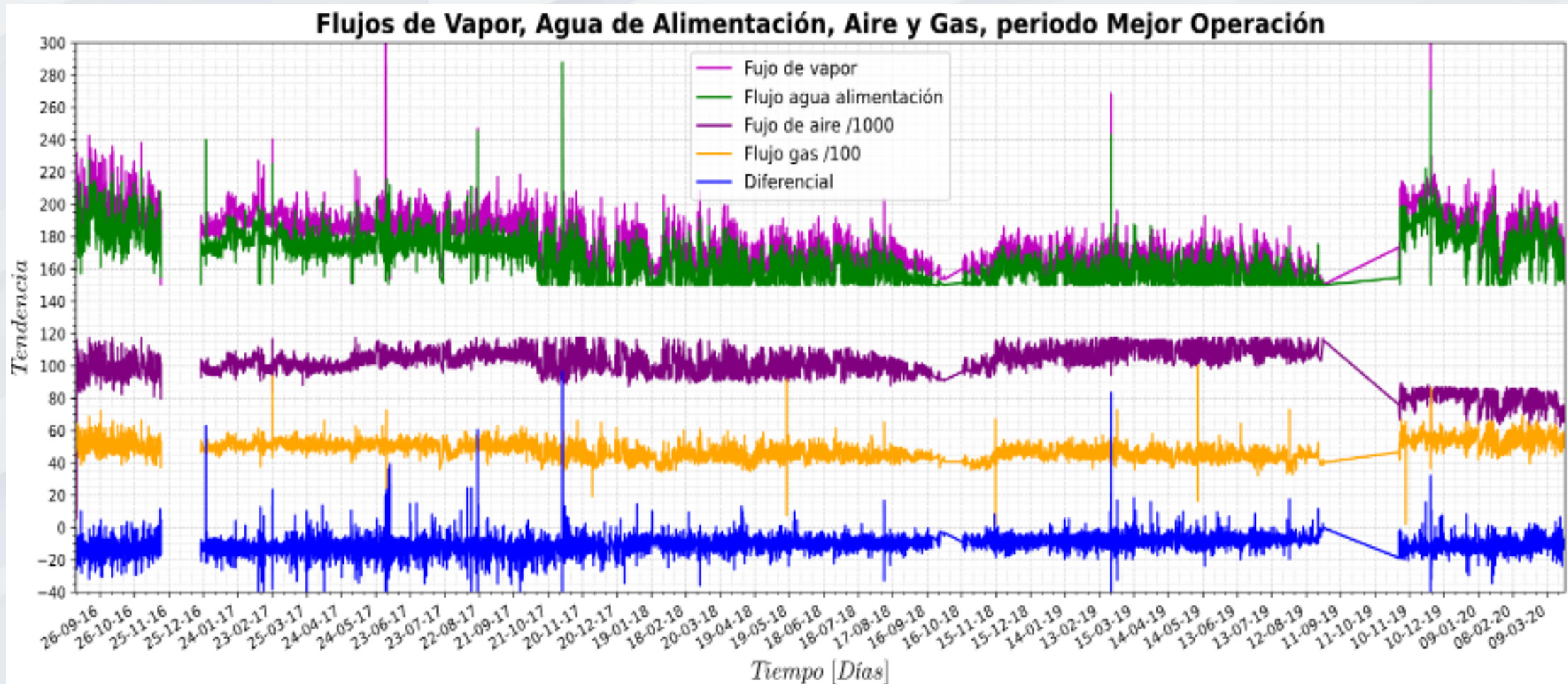


Caracterización de falla por rotura





Caracterización del periodo más largo de operación sin fallas por rotura

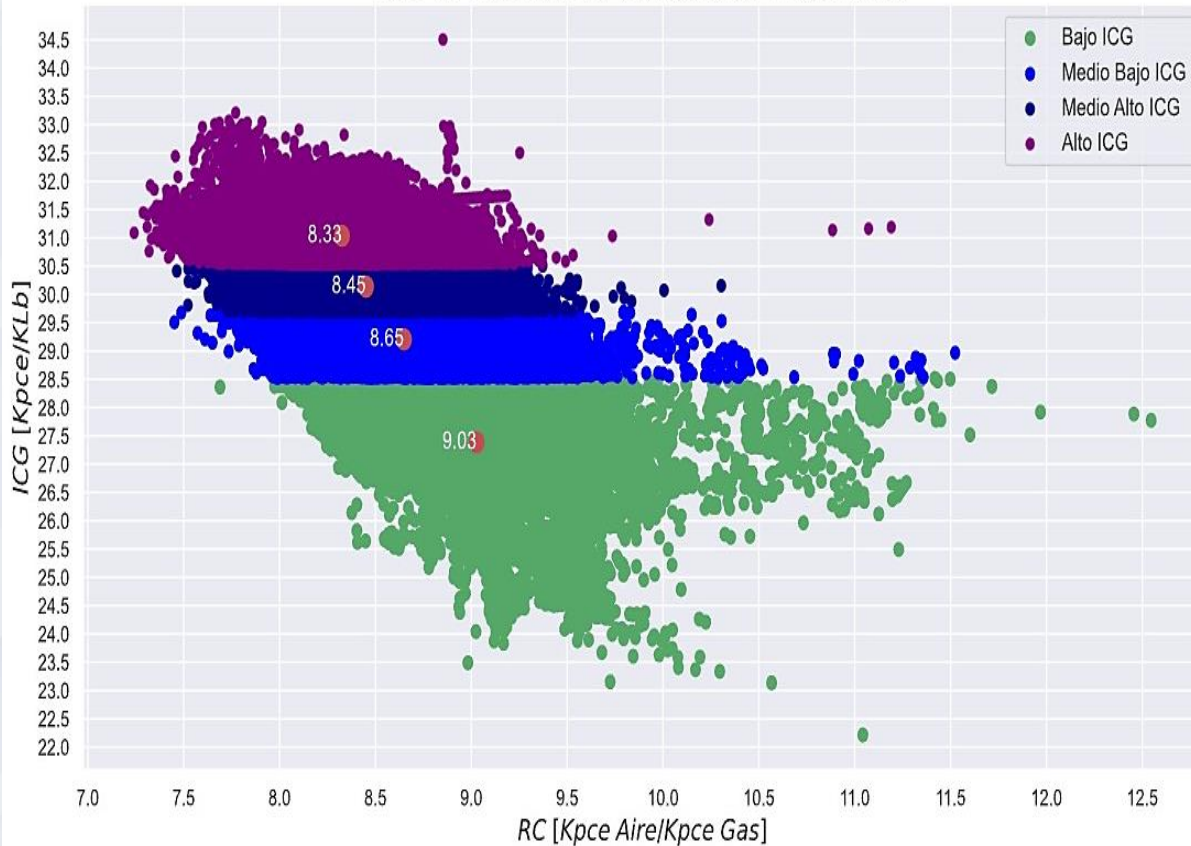




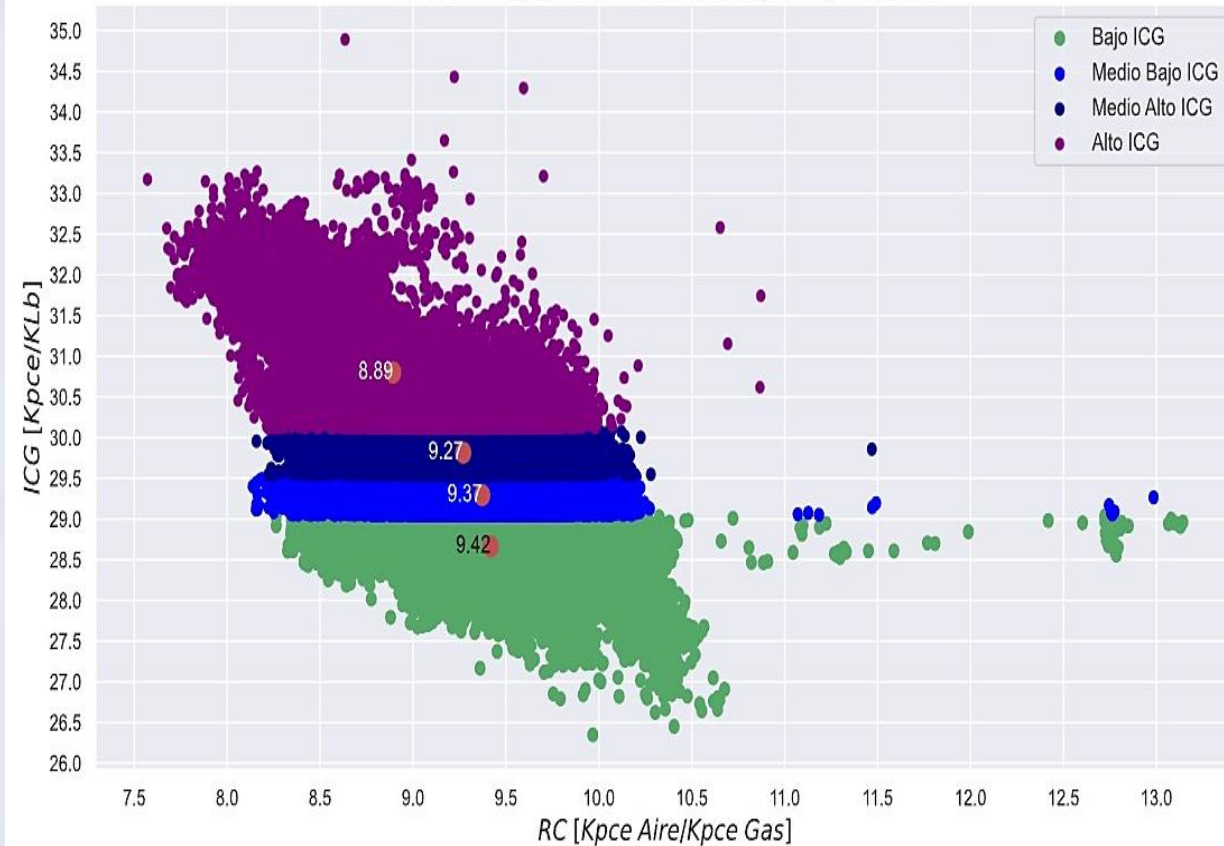
OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DEL ICG

Relación de Combustión

ICG Vs Relación de Combustión RC, SB2955



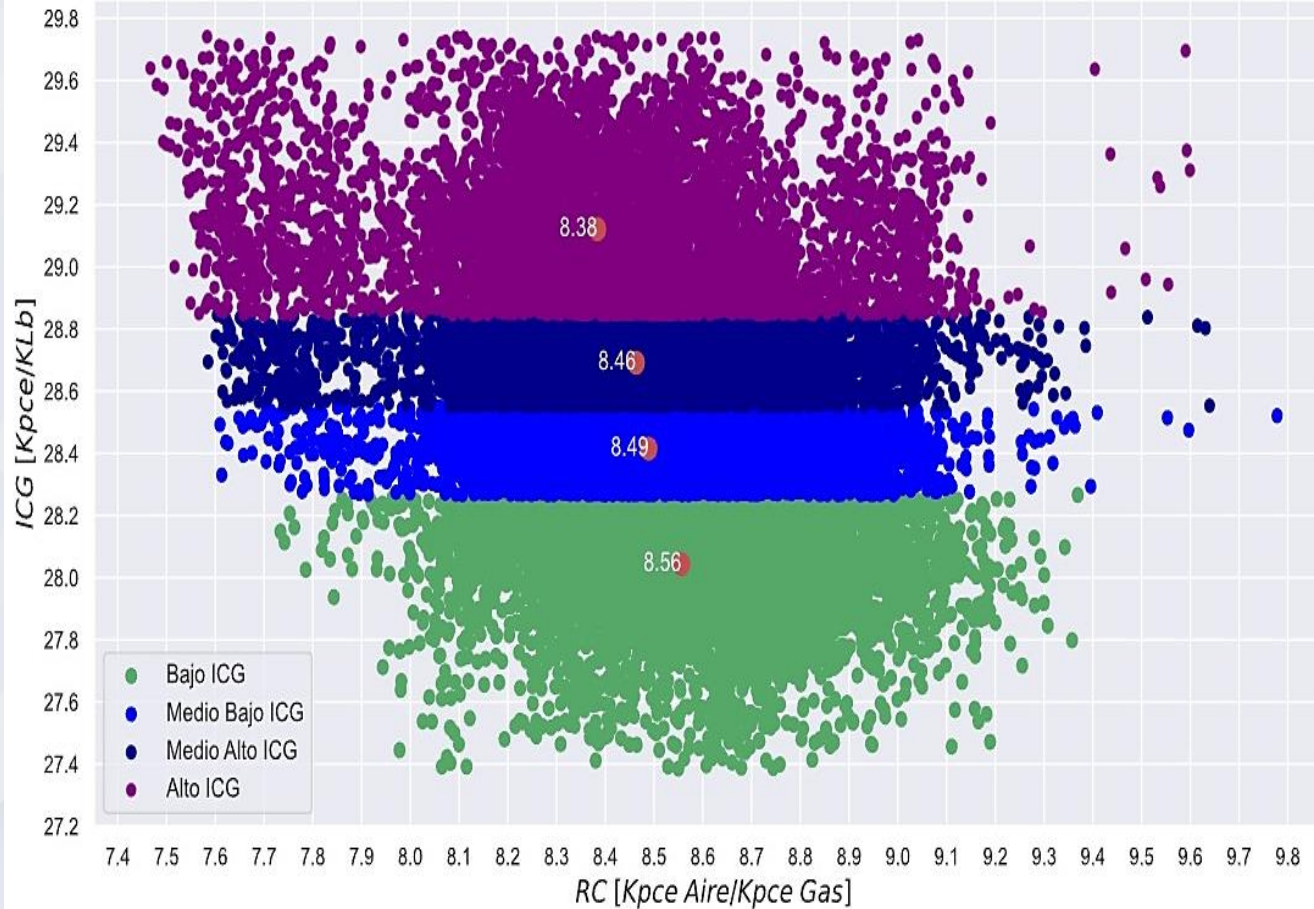
ICG Vs Relación de Combustión RC, SB2954



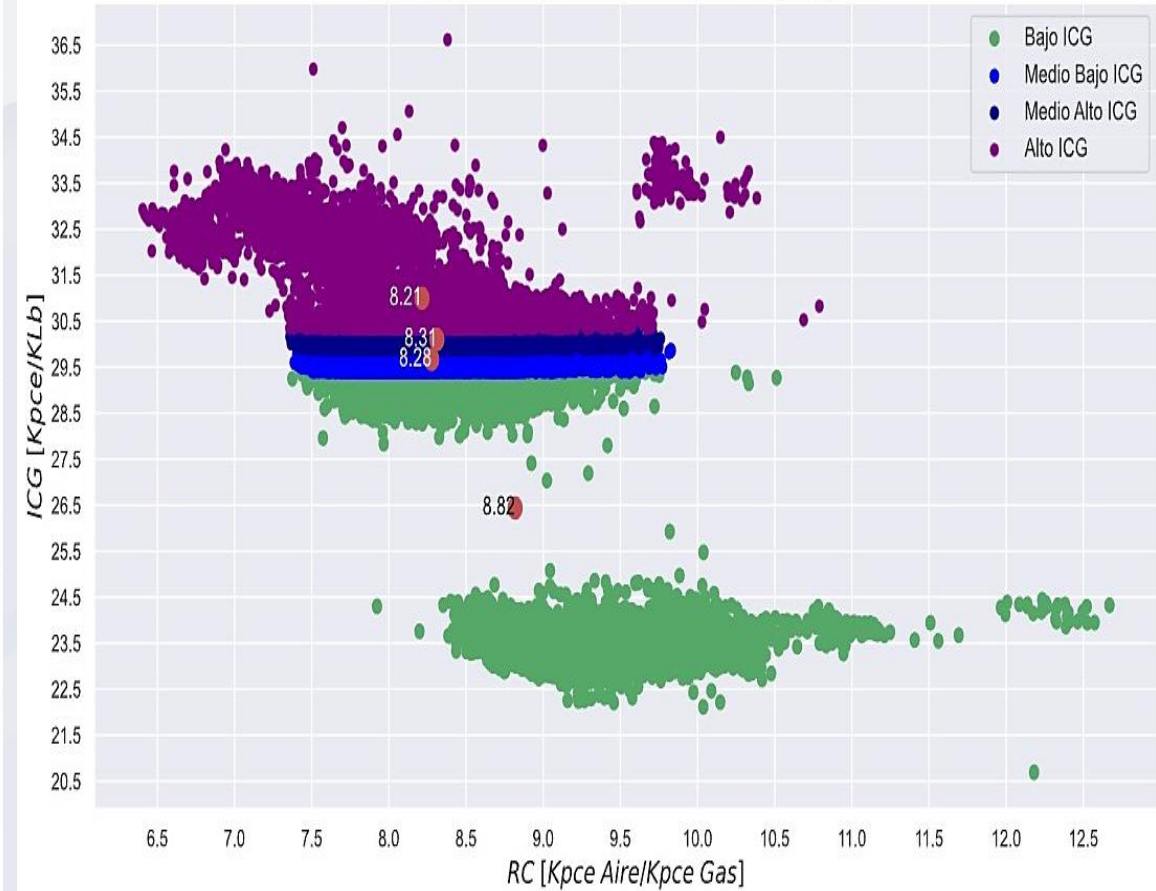


Relación de Combustión

ICG Vs Relación de Combustión RC, SB2951

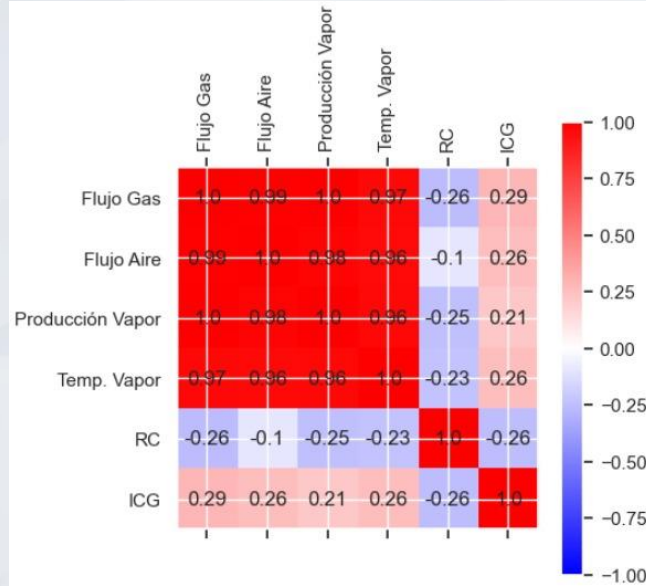


ICG Vs Relación de Combustión RC, SB2953

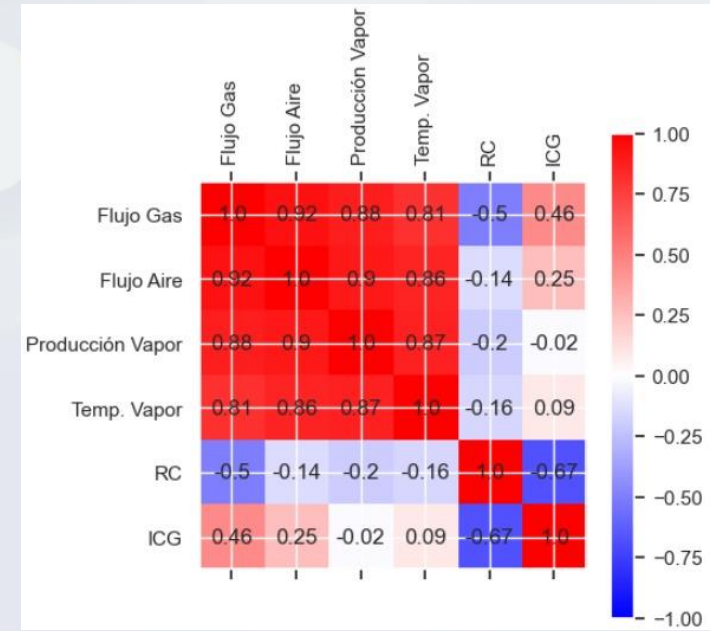


MATRICES DE CORRELACIÓN

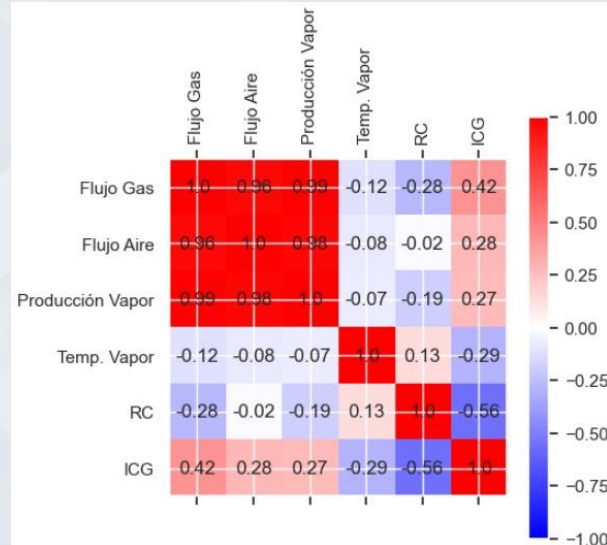
SB-2951



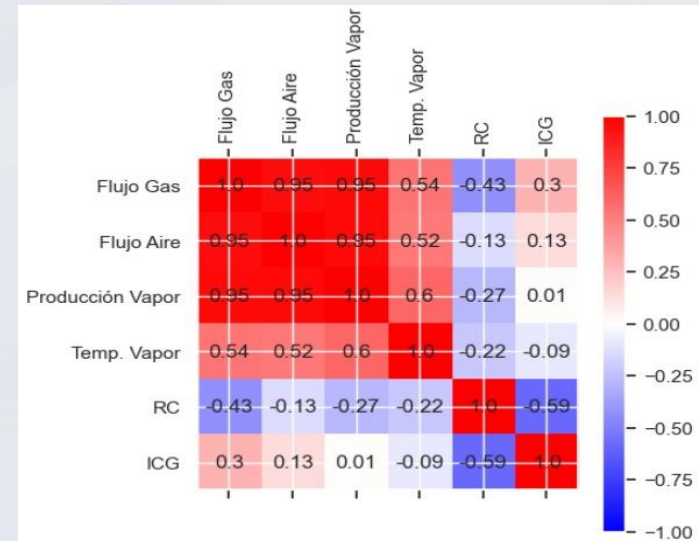
SB-2953



SB-2954



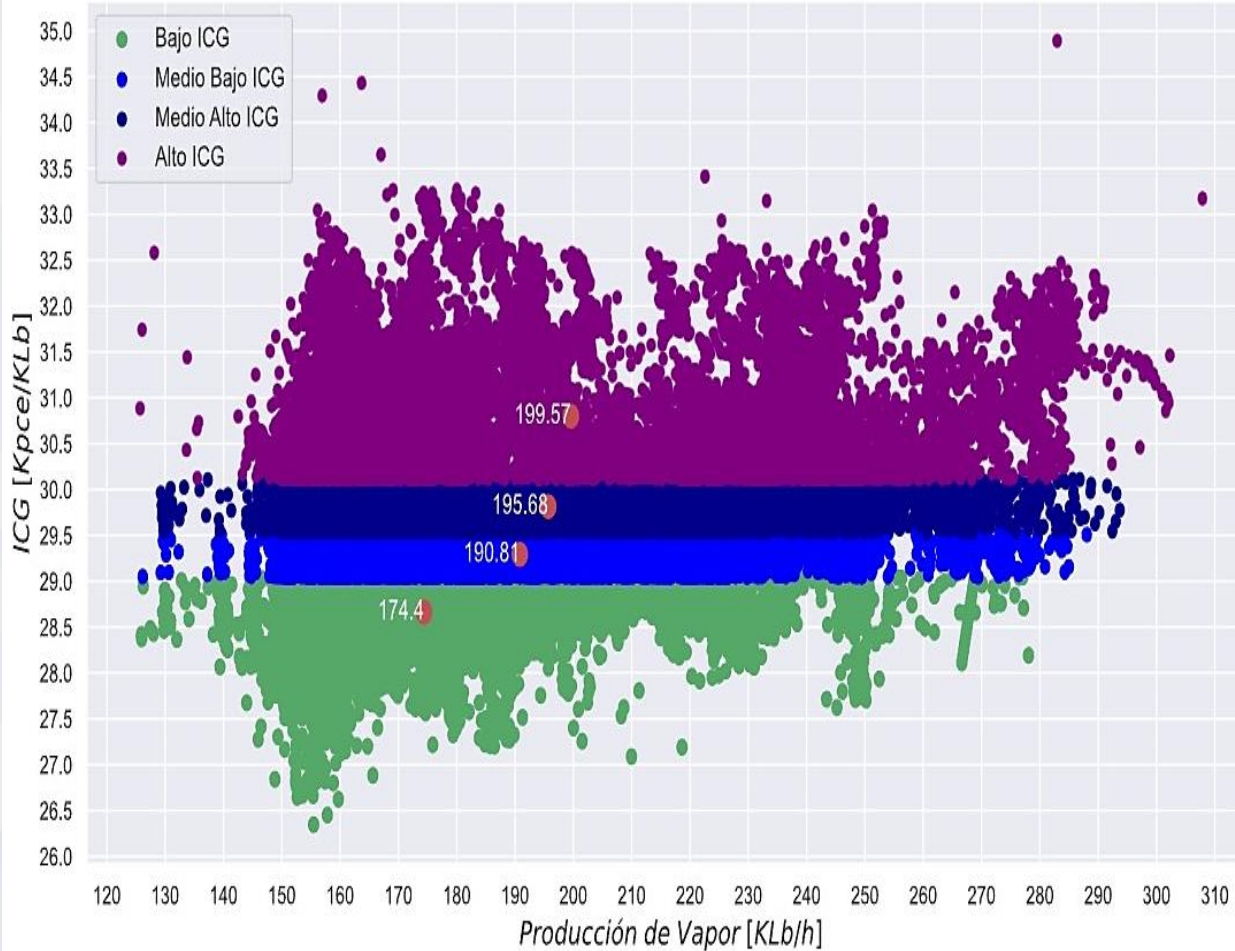
SB-2955



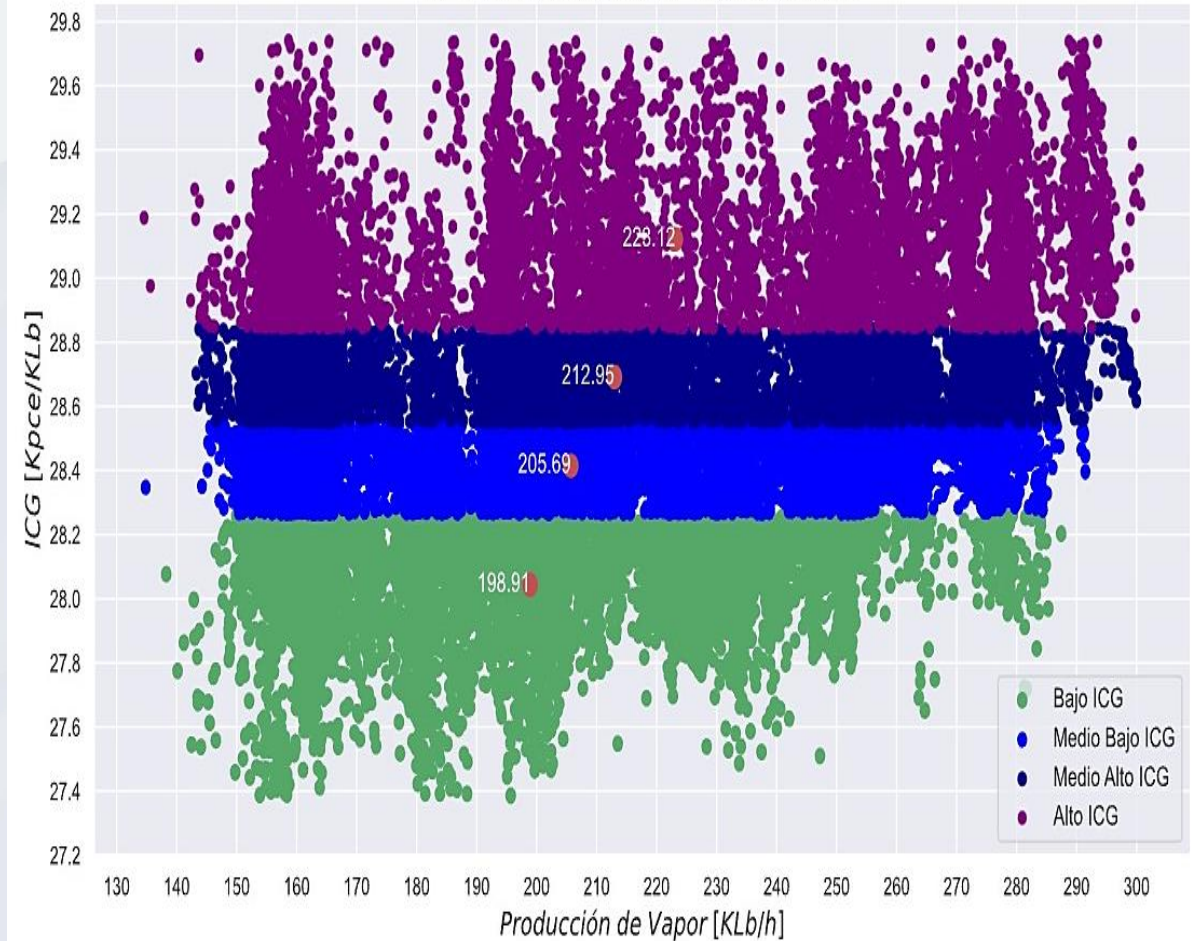


Producción de vapor

ICG Vs Producción de Vapor, SB2954



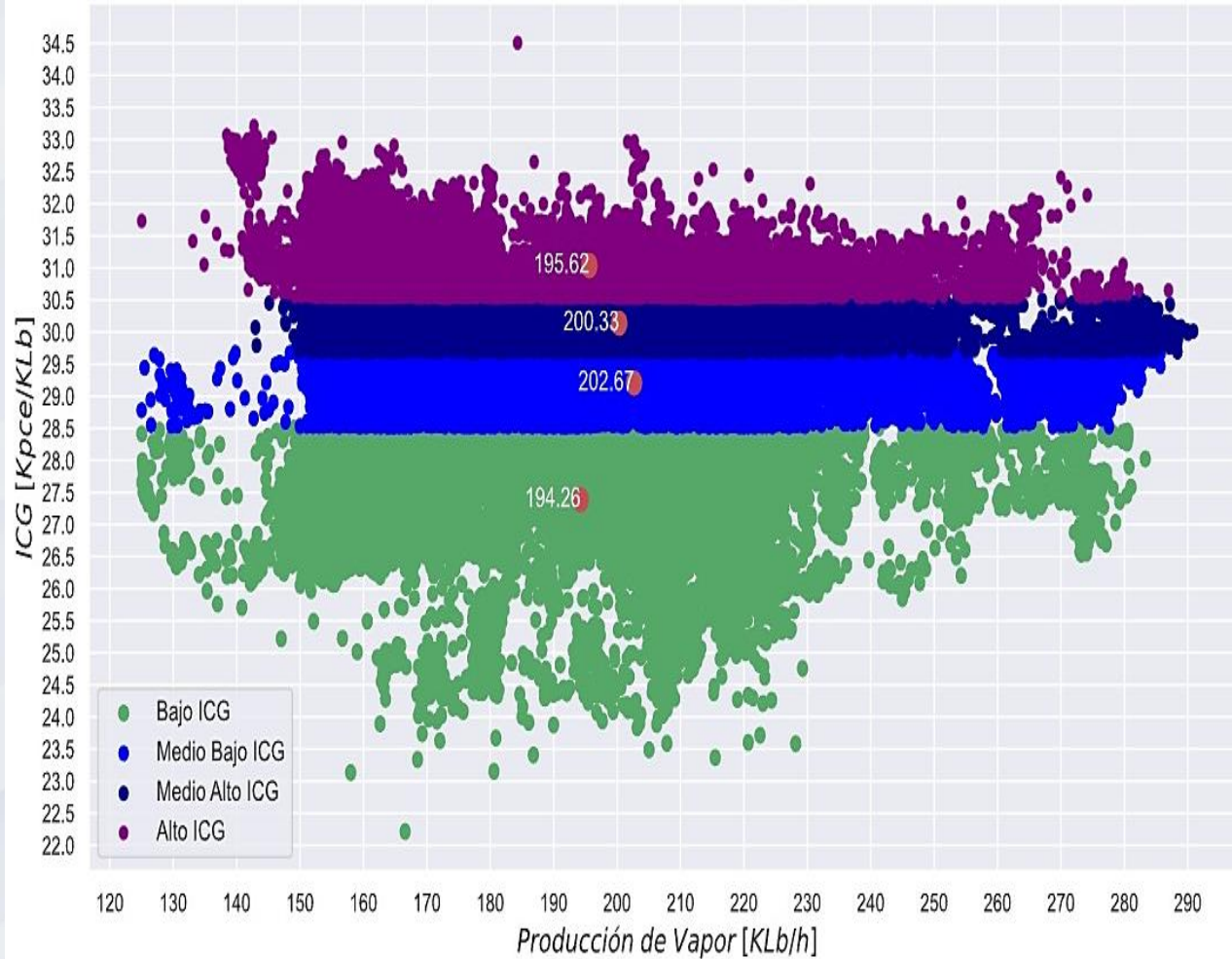
ICG Vs Producción de Vapor, SB2951



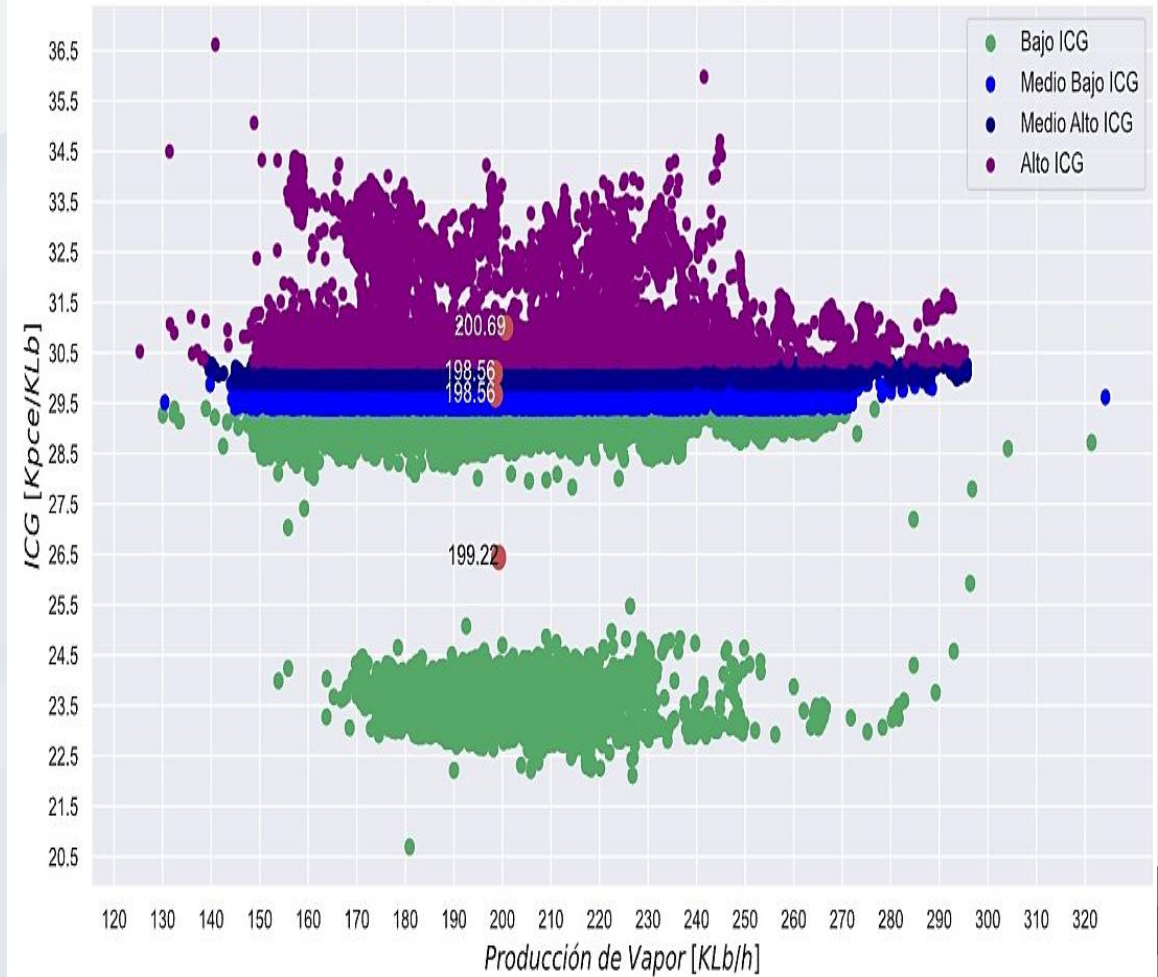


Producción de vapor

ICG Vs Producción de Vapor, SB2955



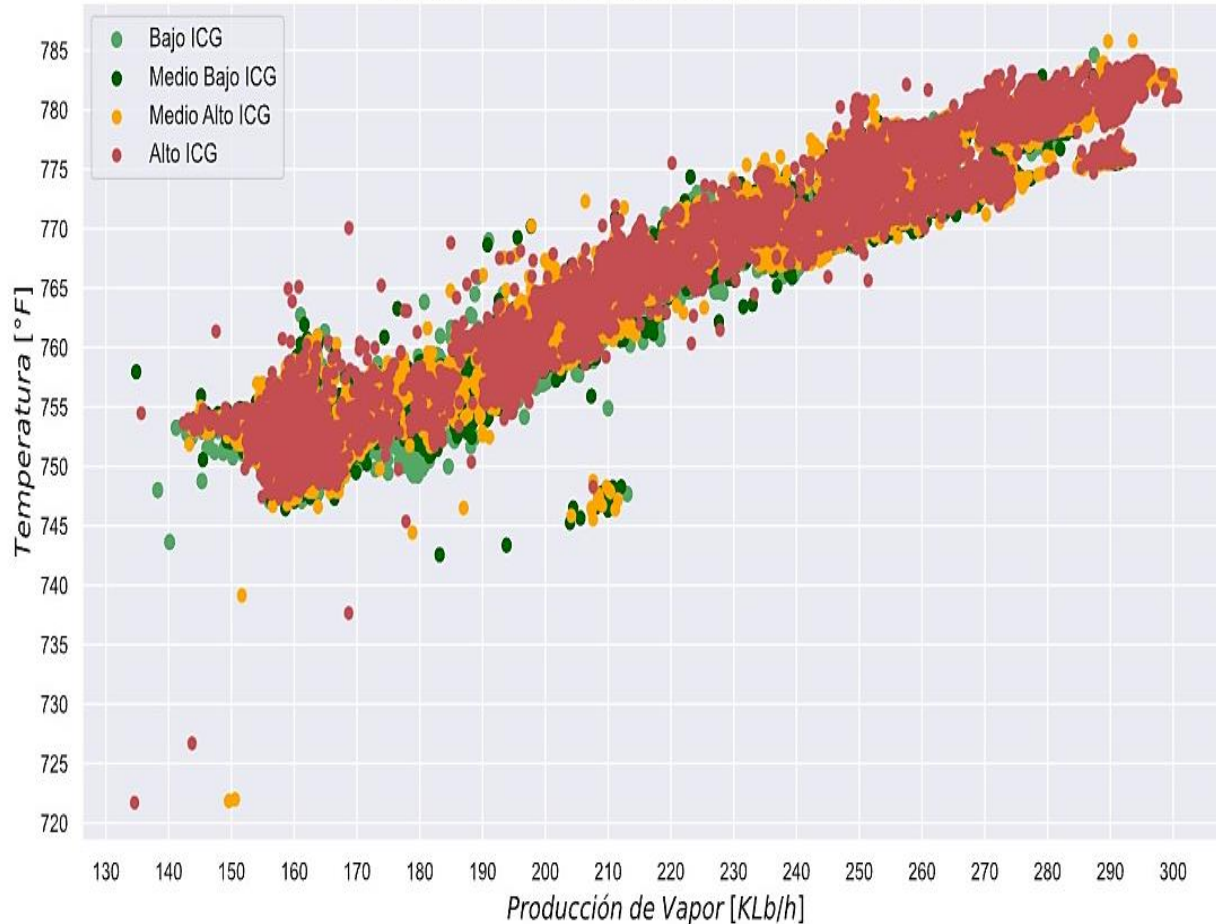
ICG Vs Producción de Vapor, SB2953



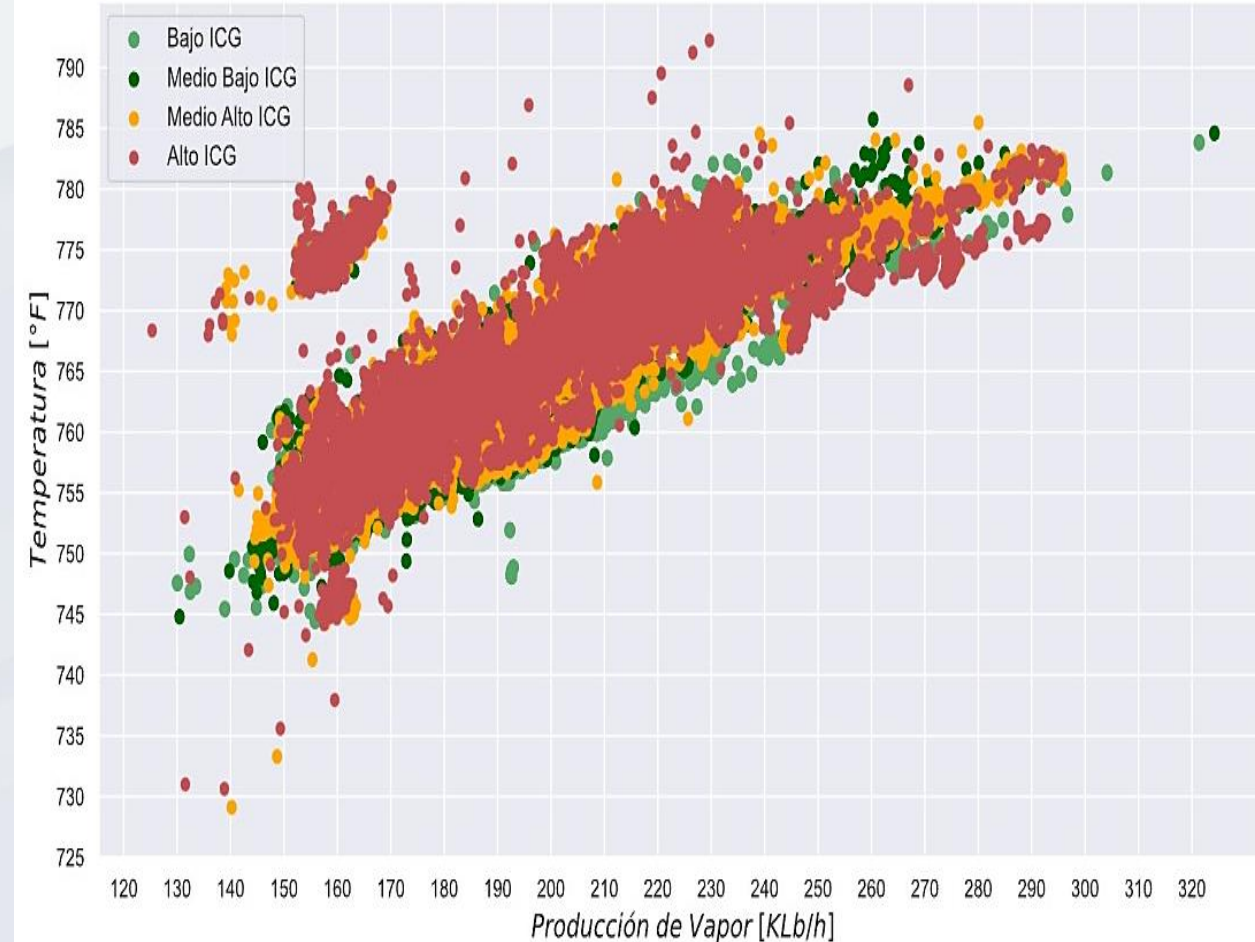


Correlación Temp-Prod.

Temperatura Vs Producción de Vapor, SB2951



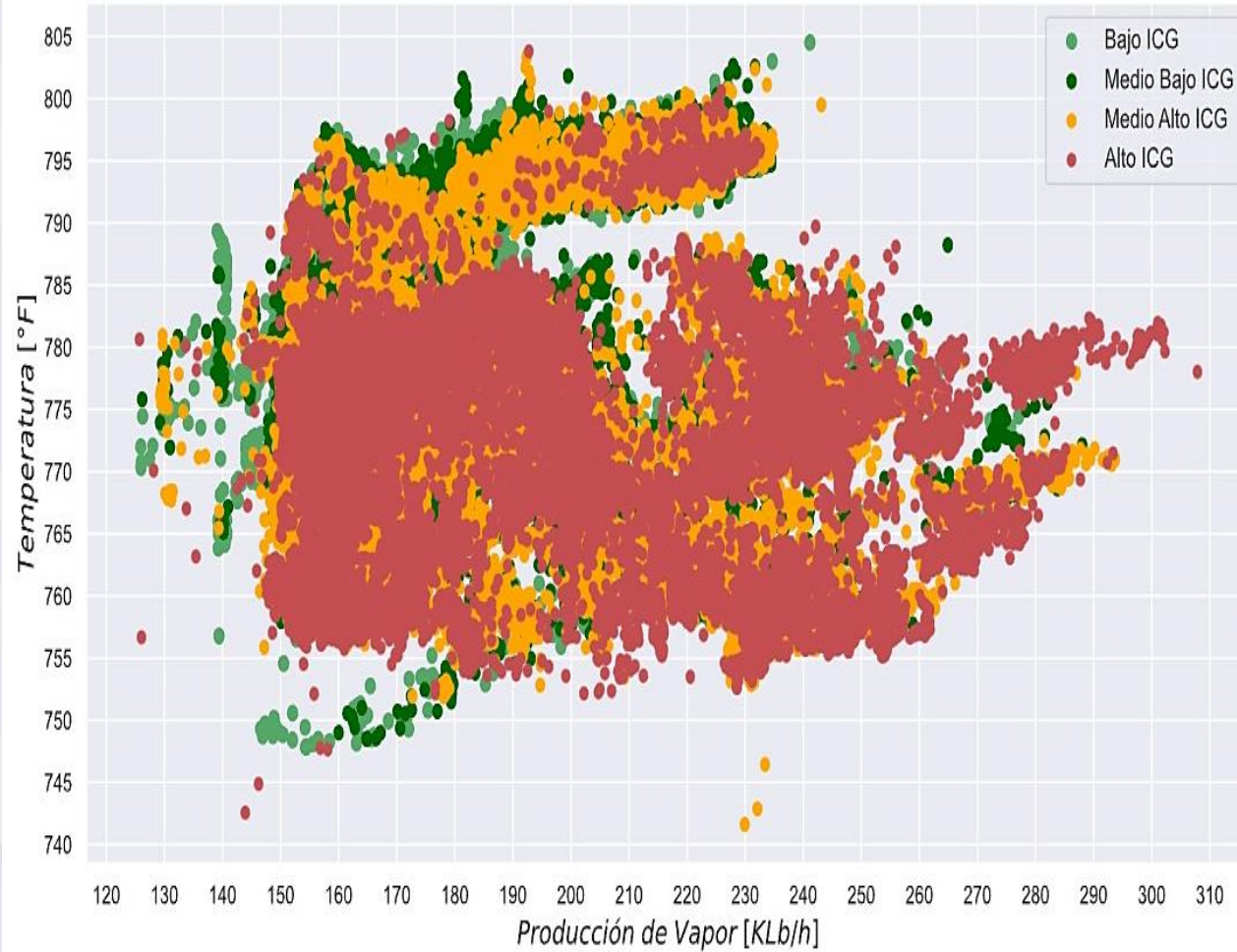
Temperatura Vs Producción de Vapor, SB2953



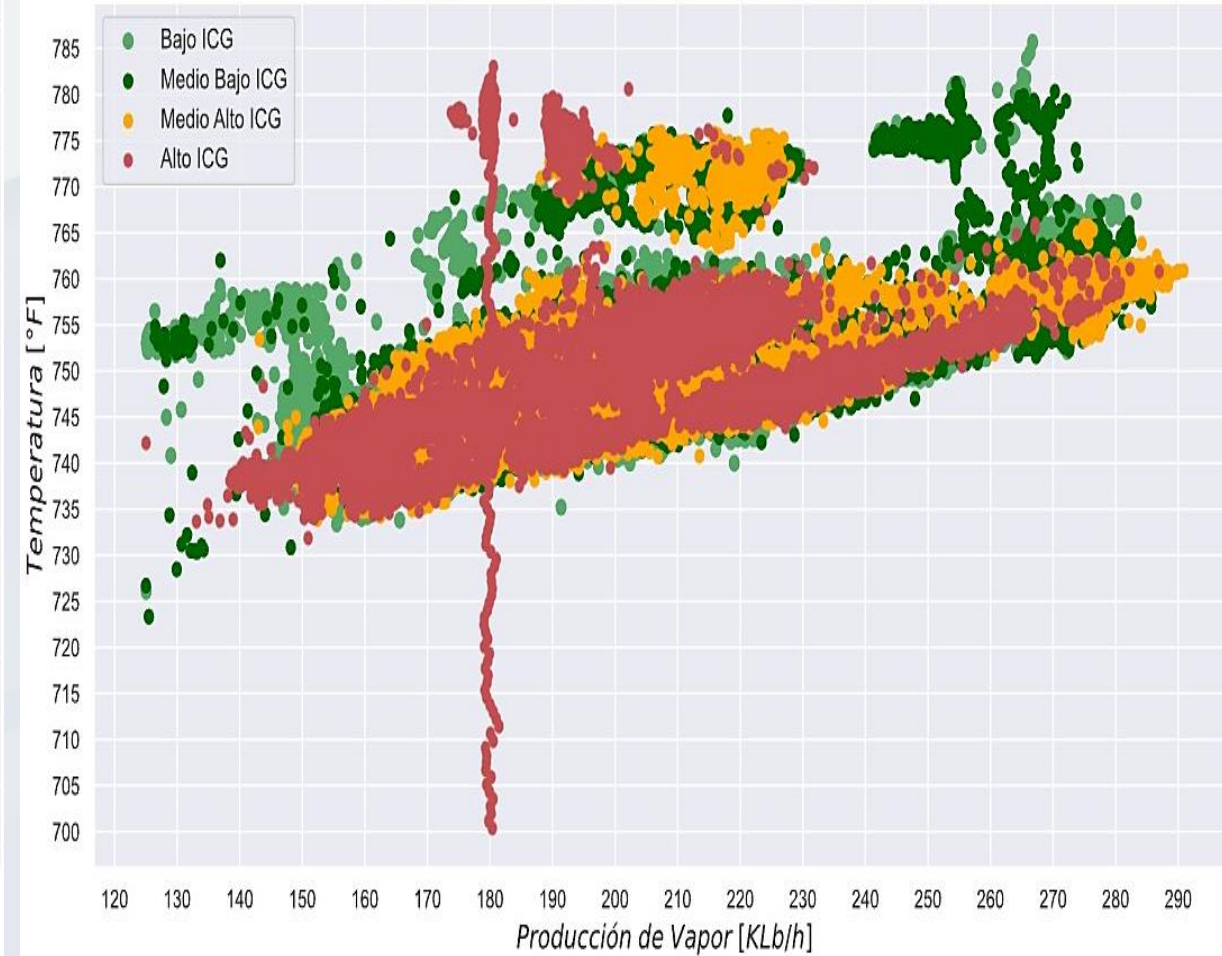


Correlación Temp-Prod.

Temperatura Vs Producción de Vapor, SB2954

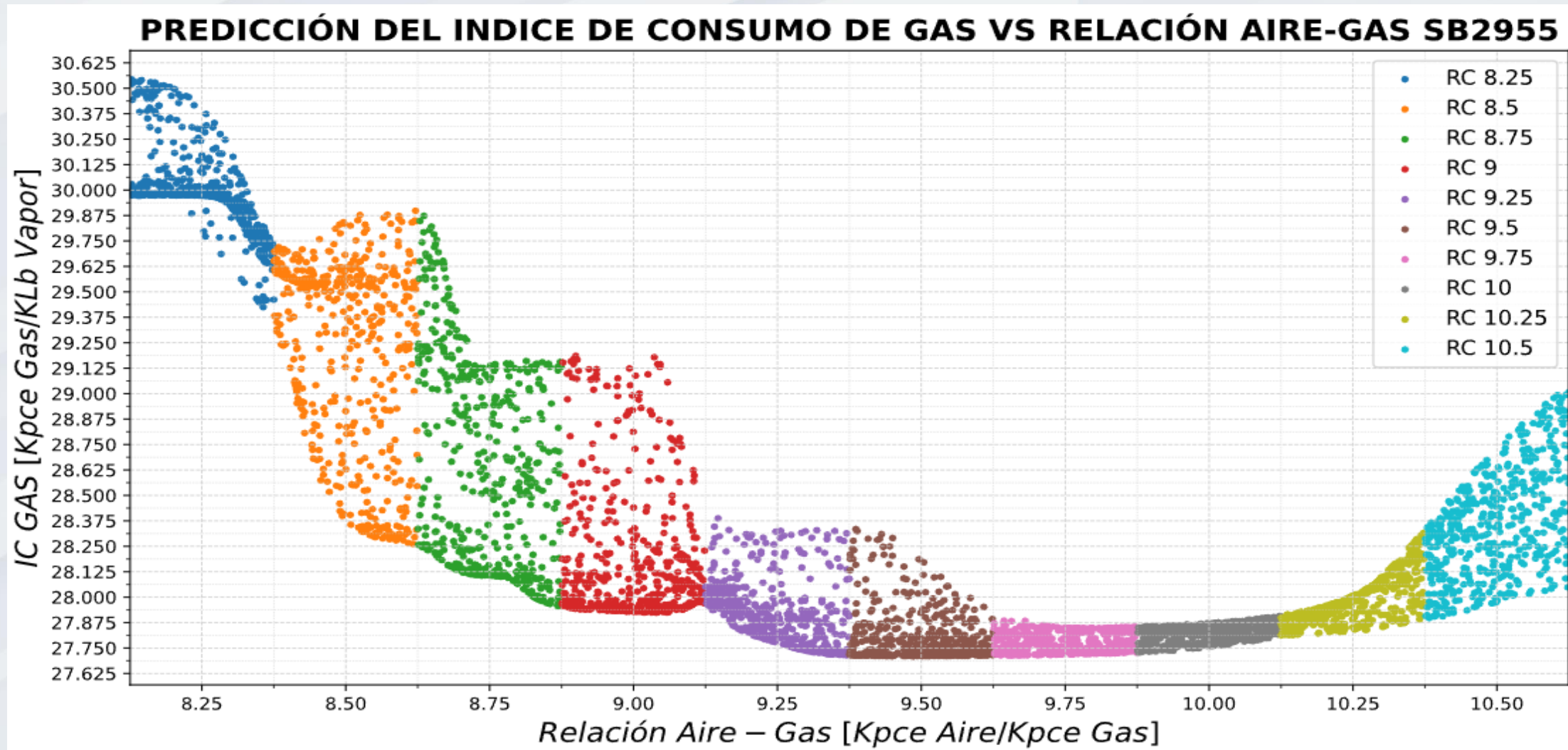


Temperatura Vs Producción de Vapor, SB2955





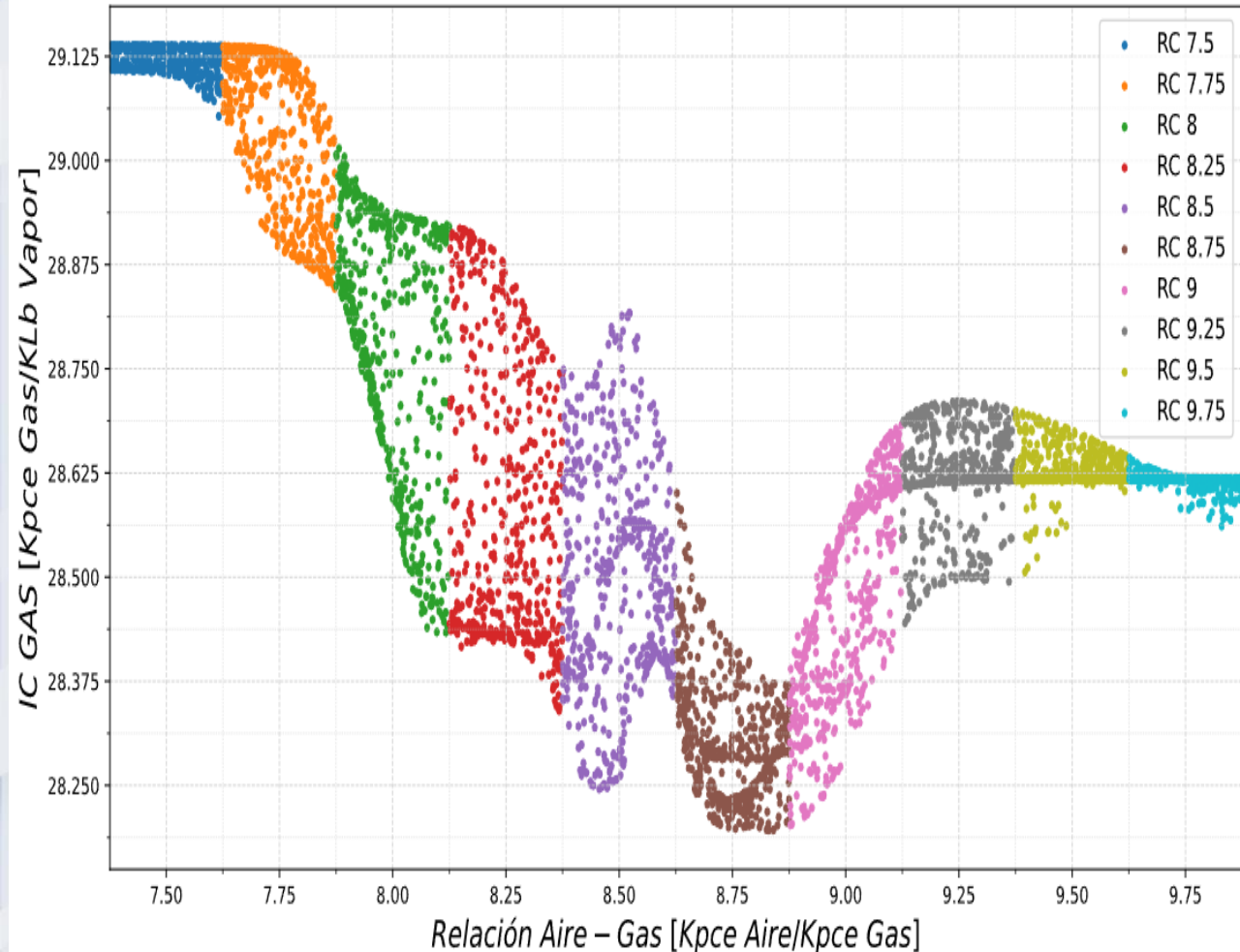
Simulación variando la relación aire/gas combustible



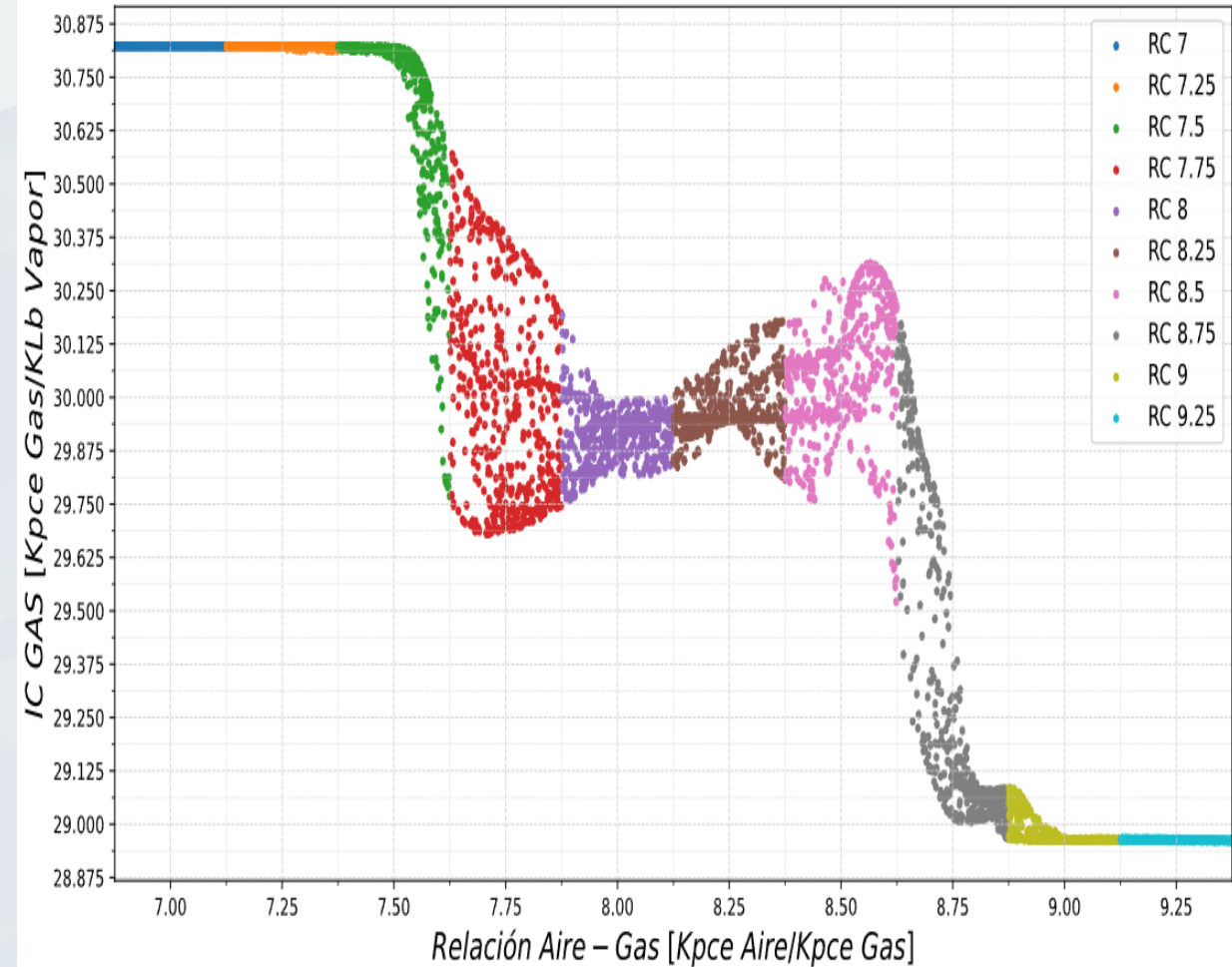


Simulación SB2951 y SB2953

PREDICCIÓN DEL INDICE DE CONSUMO DE GAS VS RELACIÓN AIRE-GAS SB2951

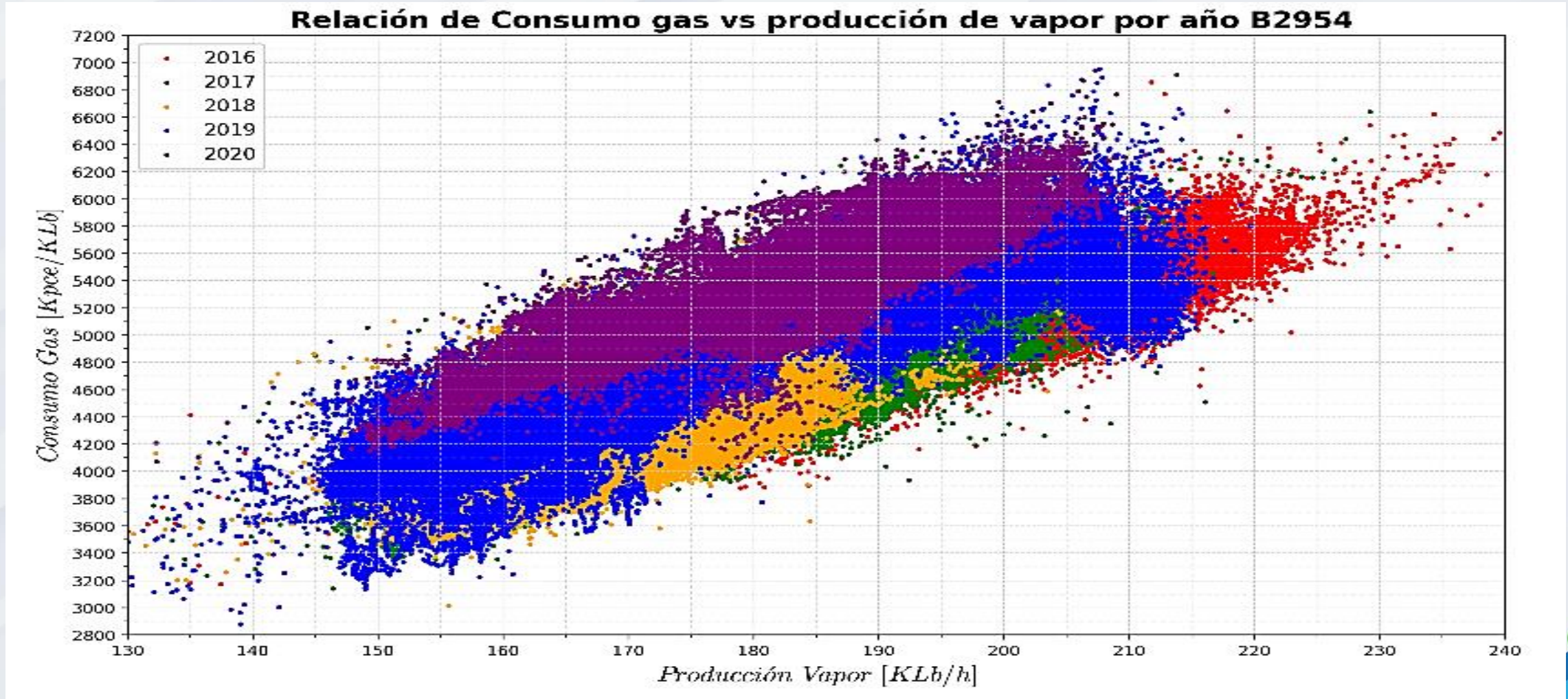


PREDICCIÓN DEL INDICE DE CONSUMO DE GAS VS RELACIÓN AIRE-GAS SB2953



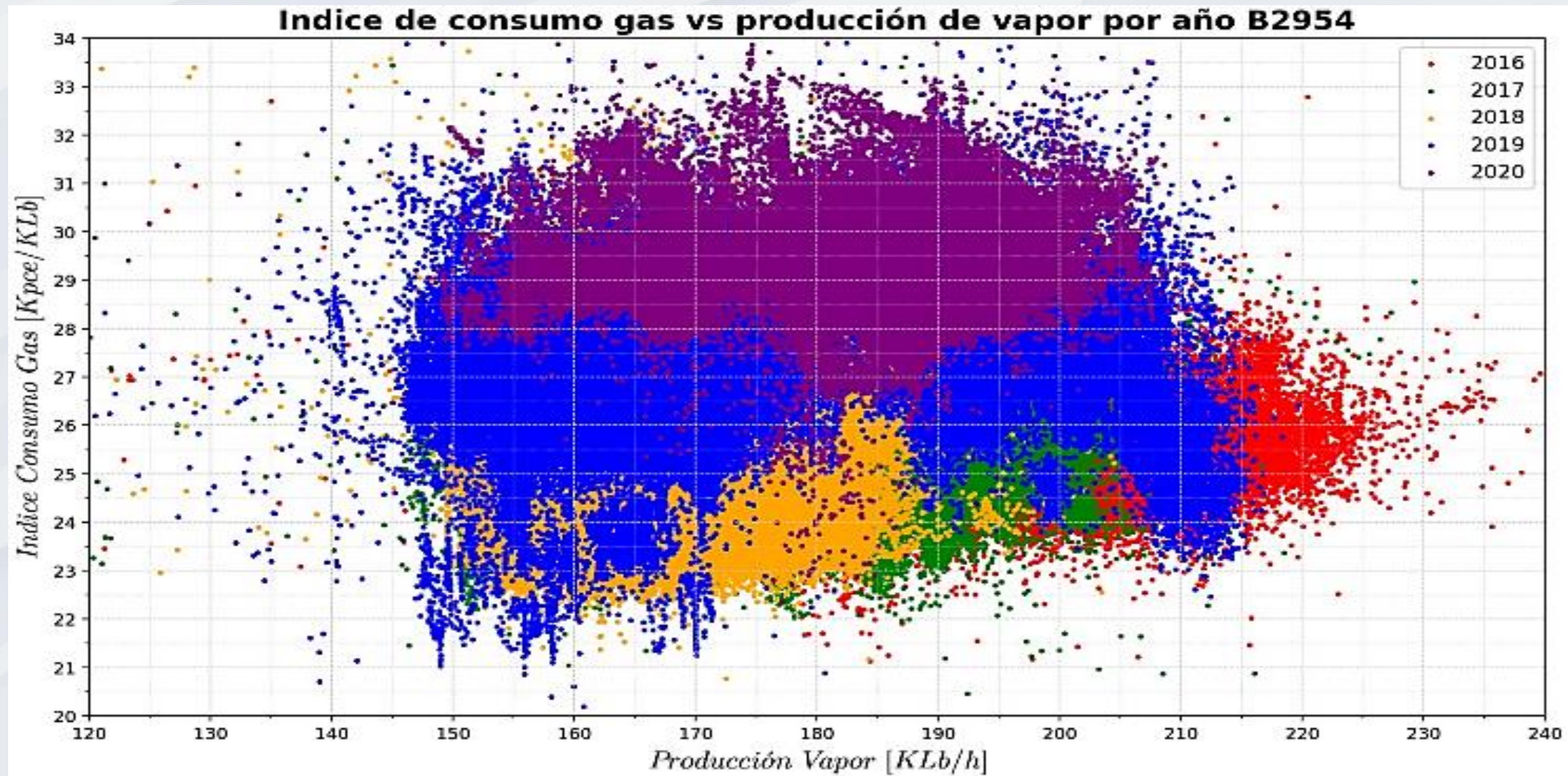


Relación de consumo de gas vs producción de vapor por año.





Predicción de IC de gas por año





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La variable de **mayor correlación** con la falla por rotura en calderas fue la **temperatura del vapor**.
- Para maximizar la vida útil de las calderas se deben controlar **la temperatura del vapor menor a 760 °F** y evitar los picos de alta temperatura, normalmente asociados a una producción de vapor alta, (depende del nivel de ensuciamiento de la caldera).
- Las altas temperaturas de gases y vapor, así como **la baja relación aire-gas menor de 8.75**, favorecen y aceleran el **fenómeno de corrosión** por ácido sulfúrico y sales higroscópicas en la caldera.
- Considerar el uso exclusivo de **gas natural libre de azufre** como combustible de las calderas o introducir técnicas de desulfurización.
- Baja producción de vapor no significa tener baja severidad en las calderas.



GRACIAS

