



# Cuarto Reporte Trimestral de Actividades Ing. Fernando Martell Chávez

---

**Cátedra de Investigación en Energía Roberto Rocca**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®**

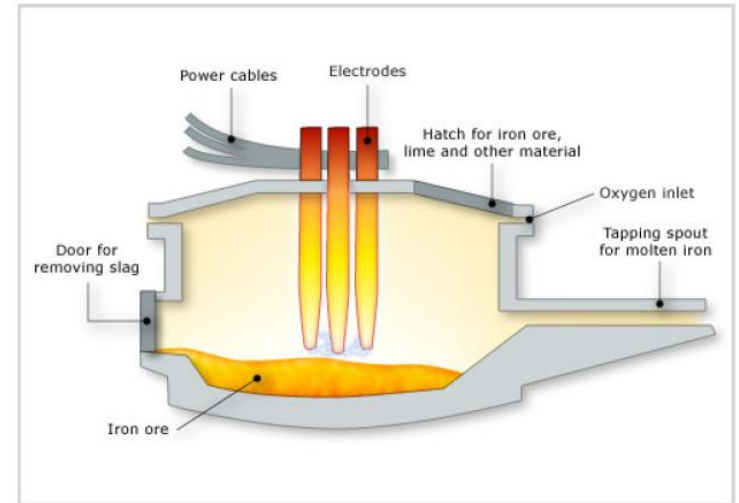


---

# Temario

- Investigación pre-doctoral  
(resumen de actividades previas)
  - Definición de tema de investigación
  - Resultados preliminares y pasos siguientes
-

# Investigación Pre-doctoral



- Revisión de Literatura
- Tecnologías Comerciales
- Artículos Realizados

---

# Investigación Pre-doctoral (1er Trim)

- I. Preparación de artículo para participación en 40<sup>o</sup> Congreso de Investigación y Desarrollo Tecnológico del ITESM, Enero 2010)
    - “Postulados de modelación, control y optimización de hornos de arco eléctrico”
  - II. Análisis de la potencia de distorsión y del factor de potencia de distorsión del arco eléctrico.
    - Simulación en “MatLab-Simulink” del arco eléctrico
    - Análisis de Fourier del voltaje y corriente de arco
-

---

# Investigación Pre-doctoral (2do Trim)

- III. Revisión de Publicaciones Recientes
    - Modelación y Control de Arco Eléctrico
      - Controles Digitales y Controles Óptimos
      - Controles Predictivos-Adaptivos basados en modelos
      - Técnicas de control de Inteligencia Artificial
    - Optimización y Calidad de Energía Eléctrica
      - Perfiles de potencia con diagramas circulares
      - Compensación con nuevos sistemas FACTS
      - TSR (Reactores Conmutados por Tiristores)
      - Mitigación de Parpadeo (Flicker)
-

---

# Investigación Pre-doctoral (2do Trim)

- IV. Revisión de Tecnologías Comerciales
    - Sistemas Eléctricos de Hornos
      - Configuraciones de AC y DC de alta potencia
      - Transformadores de alta impedancia y Reactores en serie
    - Regulación y Optimización de Arco Eléctrico
      - Regulación de Arco (impedancia, resistencia, corriente)
      - Optimización de Potencia (Power optimizer)
    - Módulos Especializados
      - Control de Cobertura de Arco / Espumamiento de Escoria
      - Balances de Energía en Línea
-

---

# Investigación Pre-doctoral (3er Trim)

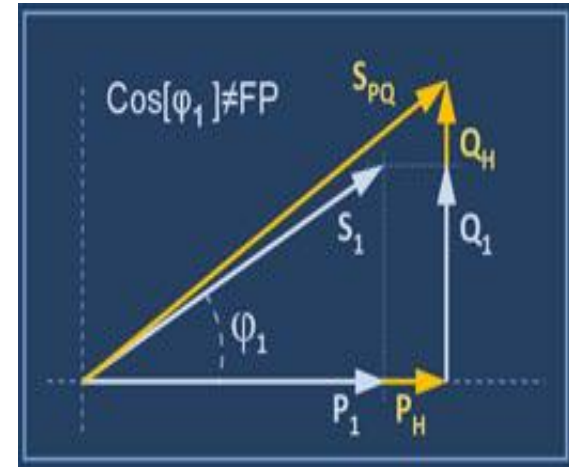
- V. Preparación en colaboración con Eder Trejo del artículo de investigación para la Conferencia EUROSIM 2010
    - “Modeling of Power and Heat Losses of Electrical Arc Furnaces”
    - Estatus: Artículo presentado y publicado
  - VI. Preparación de artículo para el VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, Noviembre-2010
    - “Innovaciones para el Control y Optimización de Hornos de Arco Eléctrico”
    - Estatus: Artículo aceptado
-

---

# Propuesta de Disertación (4to Trim)

- VII. Definición de Tema de Investigación
    - Investigación en teorías de potencias ante condiciones no-sinusoidales
    - Análisis de la aplicación de la teoría CPC para medición y control del arco
    - Elaboración del documento de la propuesta de disertación
    - Presentación ante grupos de debate del tema de investigación
-

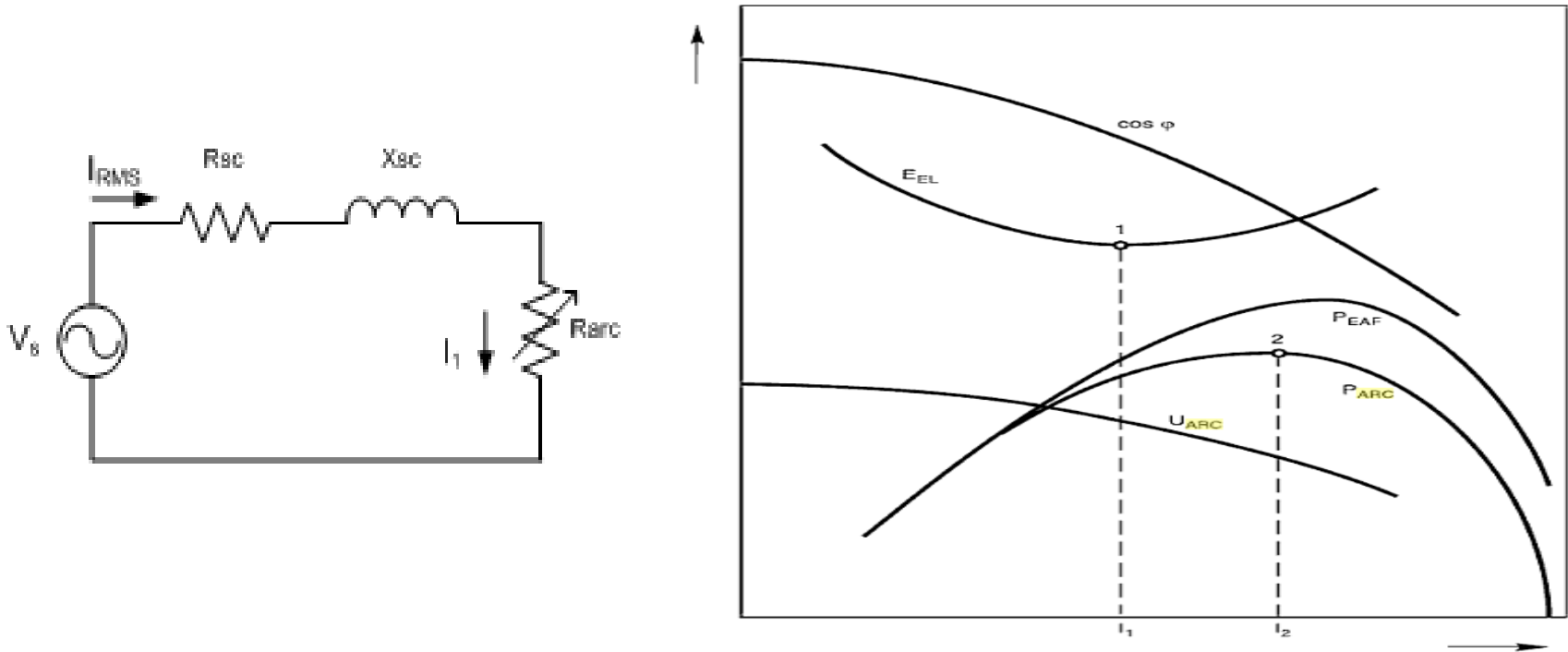
# Propuesta de Investigación



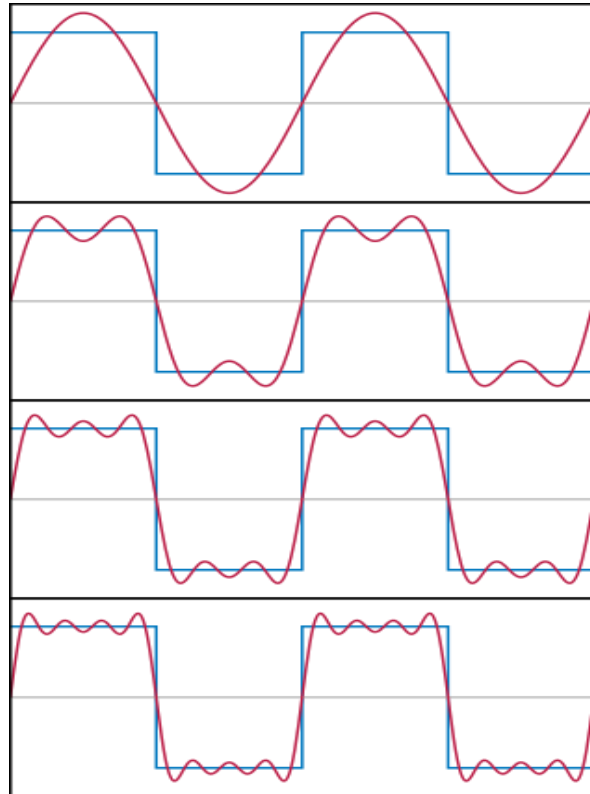
- Ingeniería Eléctrica y de Control del Arco
- Definición del Problema
- Solución Propuesta
- Objetivos

# Circuito Eléctrico del Arco

- La relación voltaje-corriente del arco es no-lineal, por lo tanto el circuito eléctrico es también no-lineal.
- “Most economical mode of the heat, as far as electrical consumption is concerned, does not match the mode of the maximum productivity” [1]



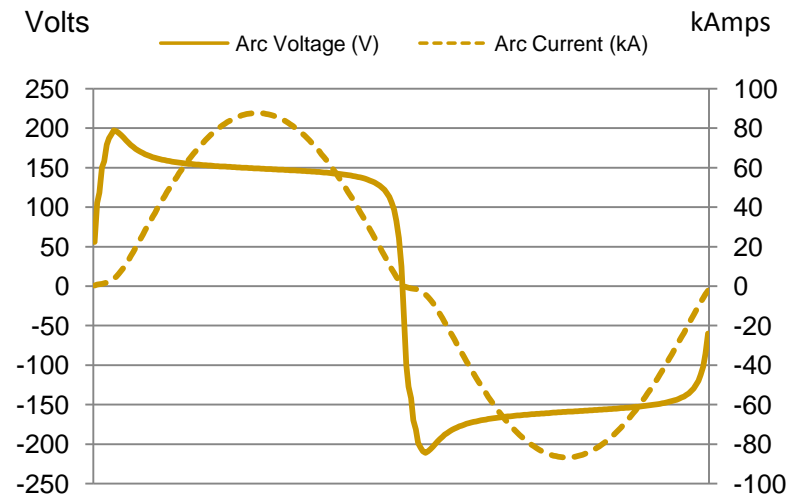
# Distorsión Armónica del Arco



$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

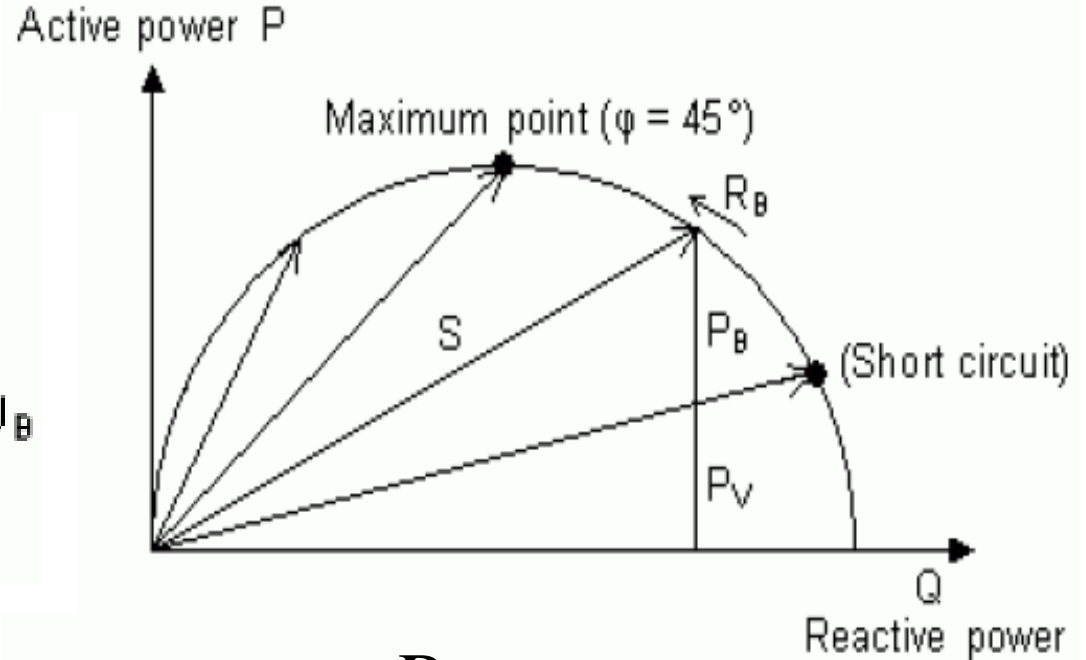
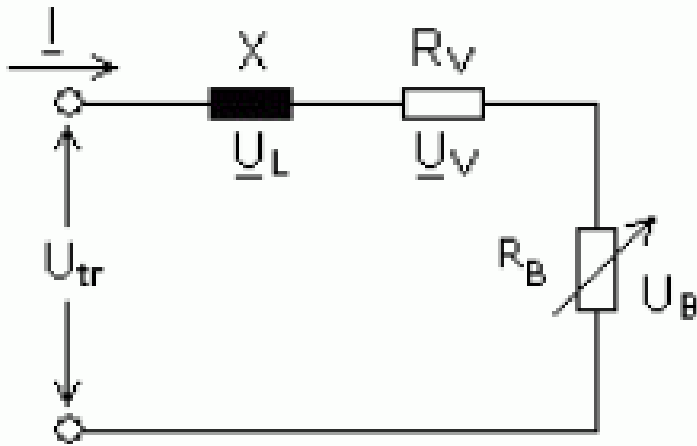
$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx, \quad n \geq 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx, \quad n \geq 1$$



- “Under steady conditions any arc voltage waveform can be described as a sum of harmonics of the supply frequency, the Fourier coefficients” [2]

# Análisis del Arco Eléctrico

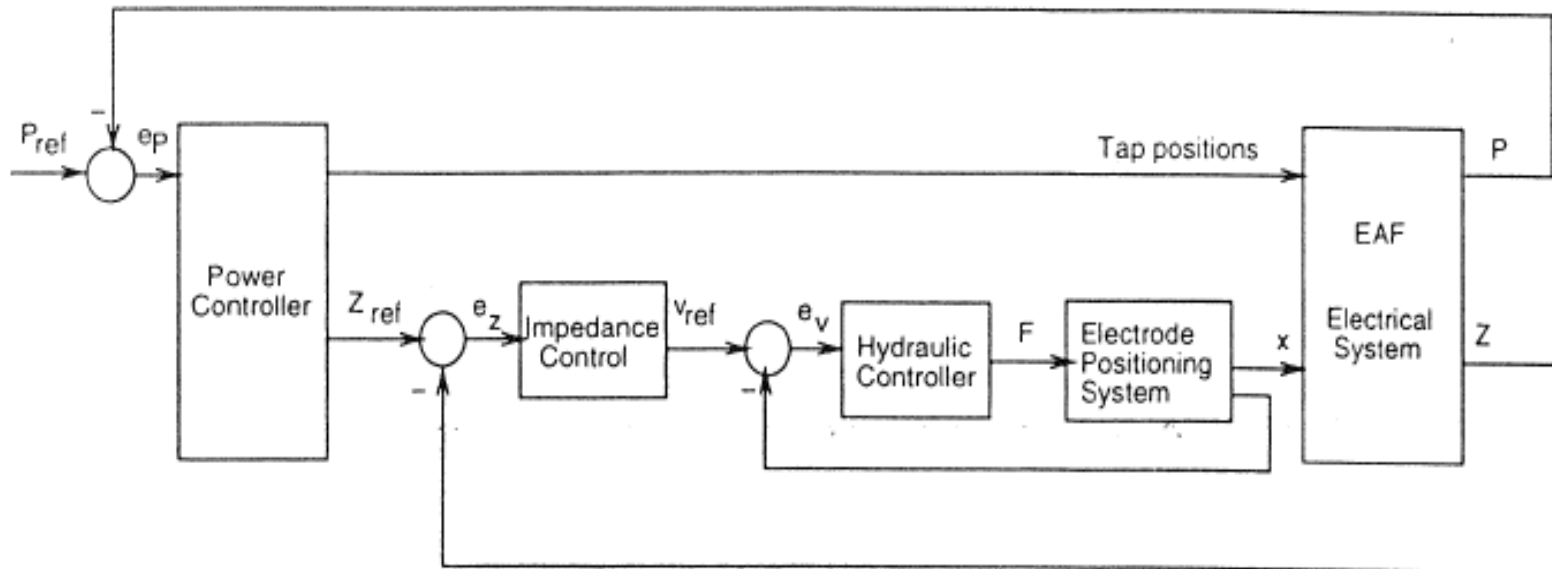


$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$FP = \frac{P}{S} = \cos\varphi$$

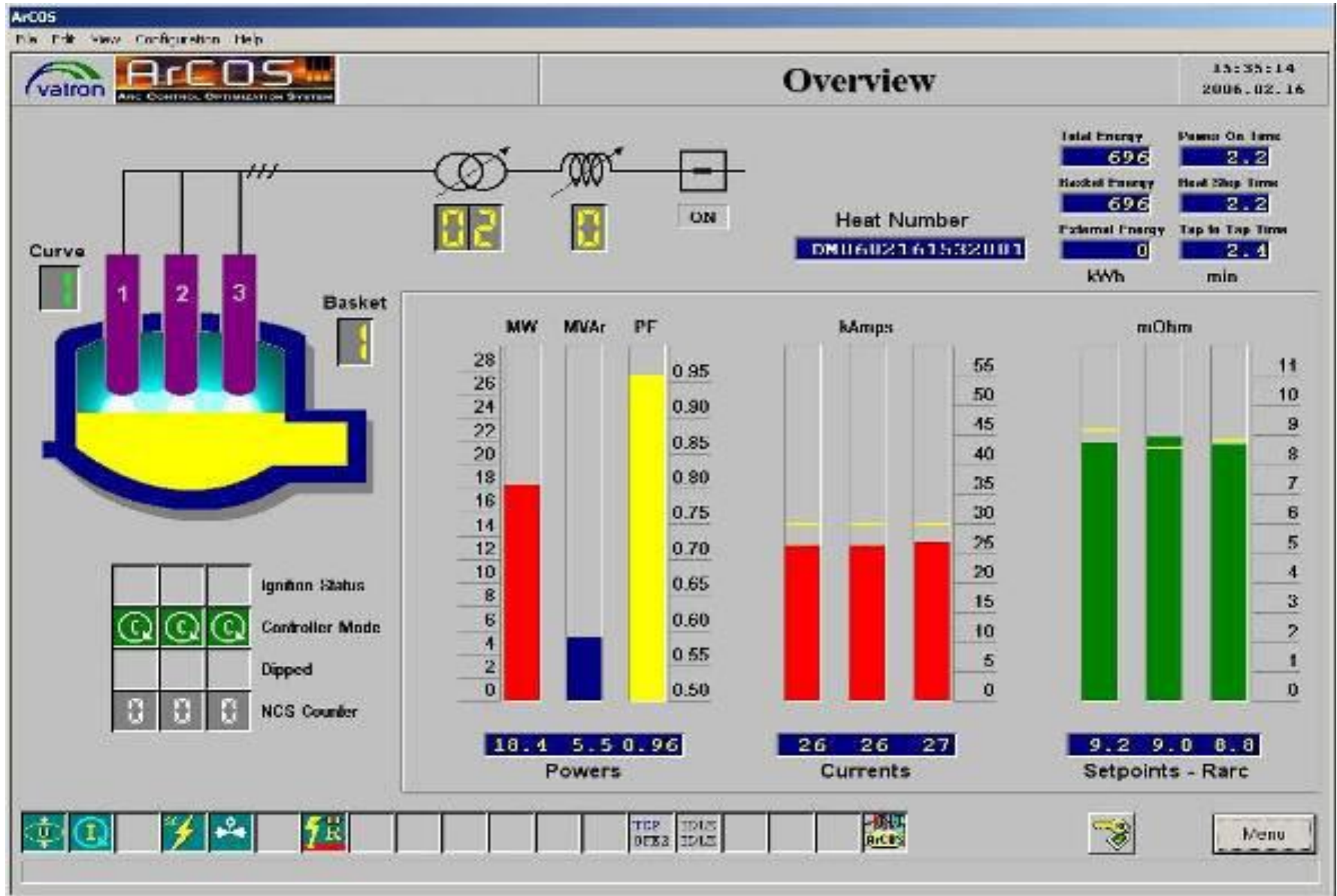
- “Unfortunately both the definitions and measurements of reactive power involves complications and confusions” [2].

# Regulación de Arco

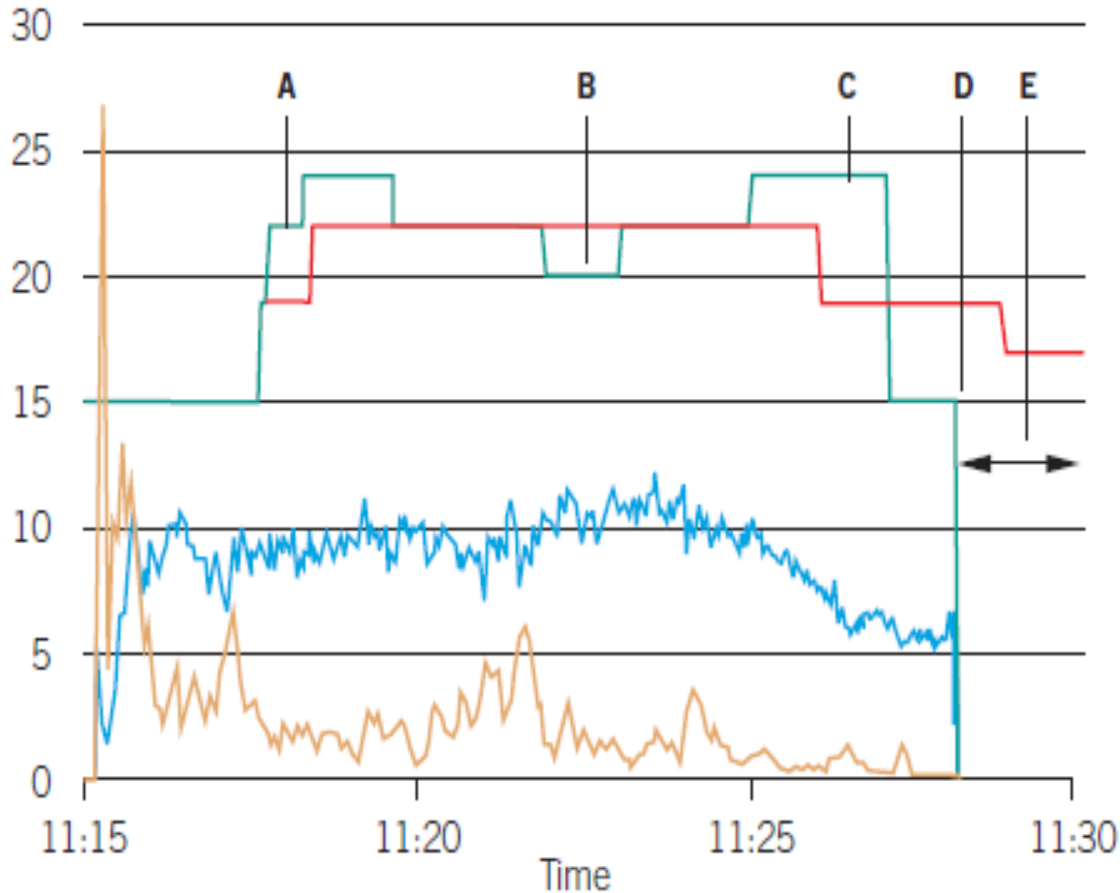


- “When assessing a model, it is much more important that it represents the relation between active power, rms current and rms voltage in a realistic way, because these values are mainly used for specifying the operating point as well as for electrode regulation” [2].

# Regulación de Arco



# “Estabilidad” y “Cobertura”



- 5 Dynamic control of the power profile:
- arc voltage static profile;
  - arc voltage dynamic profile;
  - arc coverage index;
  - arc stability index.
- A) Increasing power due to the good arc conditions.
- B) Decreasing power due to the bad arc.
- C) Increasing power due to the good arc conditions.
- D) Suggested heat stop by dynamic profile.
- E) Saved Power On time.

---

# Definición del Problema

- Los instrumentos de medición usan definiciones de potencia reactiva que no separan los efectos por distorsión armónica.
  - Los estudios de potencias asumen condiciones sinusoidales y cargas lineales para definir niveles operativos de potencias.
  - No existen definiciones o metodologías para calcular la eficiencia eléctrica ni la cobertura de arco. Tampoco existen criterios documentados para el control de potencia.
-

---

# Solución Propuesta

- Medición y control de los HAE con la teoría de potencias de los componentes de la corriente física.
    - Correcta interpretación de la potencia entregada al arco (Pérdidas eléctricas y eficiencia)
    - Definición de indicadores de funcionamiento como lo son la eficiencia del arco y la cobertura del arco
    - Mejorar los estudios de potencia para lograr un mejor entendimiento del fenómeno del arco eléctrico
-

# Teoría de Potencias CPC

- “Current’s Physical Components” (Dr. Czarnecki)

- Corriente Activa:

$$i_a(t) = \frac{P}{V_{RMS}^2} v(t) = Gv(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{n=0}^{\infty} G V_n e^{jn\omega t}$$

- Corriente Reactiva:

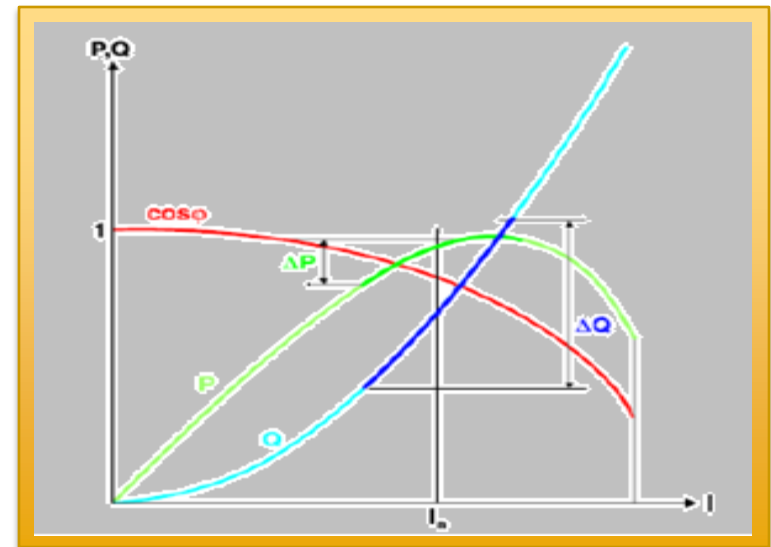
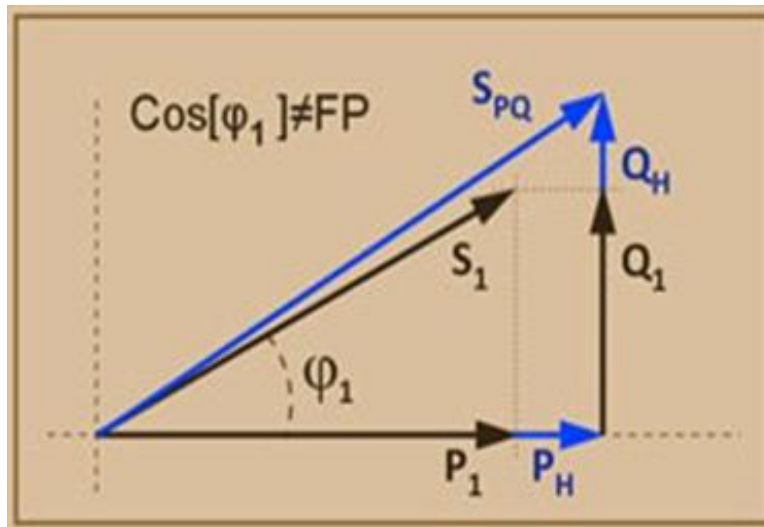
$$i_r(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{n=1}^{\infty} jB_n V_n e^{jn\omega t}$$

- Corriente de Dispersión (scattered):

$$i_s(t) = (G_0 - G)V_0 + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{n=1}^{\infty} (G_n - G)V_n e^{jn\omega t}$$

# Aplicación CPC en HAE

- Mediciones correctas P, Q & D para realizar análisis de potencias del arco eléctrico durante las coladas
  - Estimación precisa de la potencia en el arco
  - Indicadores de eficiencia y cobertura
  - Determinar mejores puntos de operación en potencia



---

# Objetivos

- Diseñar un sistema de medición para la descomposición de la corriente de los electrodos en los componentes: activa, reactiva y de dispersión.
  - Correlacionar las condiciones de la colada con los parámetros CPC para proponer definiciones para la eficiencia y cobertura del arco.
  - Efectuar análisis de potencias “en-línea” en los HAE para determinar punto de operación con criterio de uso eficiente de energía.
-

---

# Motivación

- ¿Porque un análisis distinto al que se hace hoy?
    - La medición correcta de la potencias activa y reactiva es muy importante para definir niveles operativos de potencia.
    - Los Hornos de Arco Eléctrico son carga muy grandes, pequeñas mejoras implican ahorros significativos.
  - ¿Cómo se obtendrían los ahorros?
    - Implementando un sistema de monitoreo del arco que reporte nuevas variables de proceso a partir de las cuales se puedan tomar decisiones que permitan operar lo HAE con criterios de uso eficiente de energía.
-

---

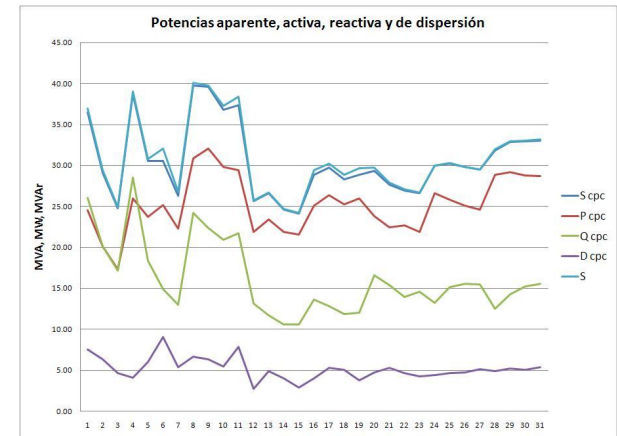
# Hipótesis

- “Es posible una mejor medición, análisis y control del arco eléctrico mediante la teoría de potencias de los componentes de la corriente física”

Fernando Martell Chávez

---

# Resultados Preliminares



- Análisis CPC de Datos de Simulación
- Gráficas CPC de Mediciones Tamsa

---

# Análisis CPC de Simulación de Arco

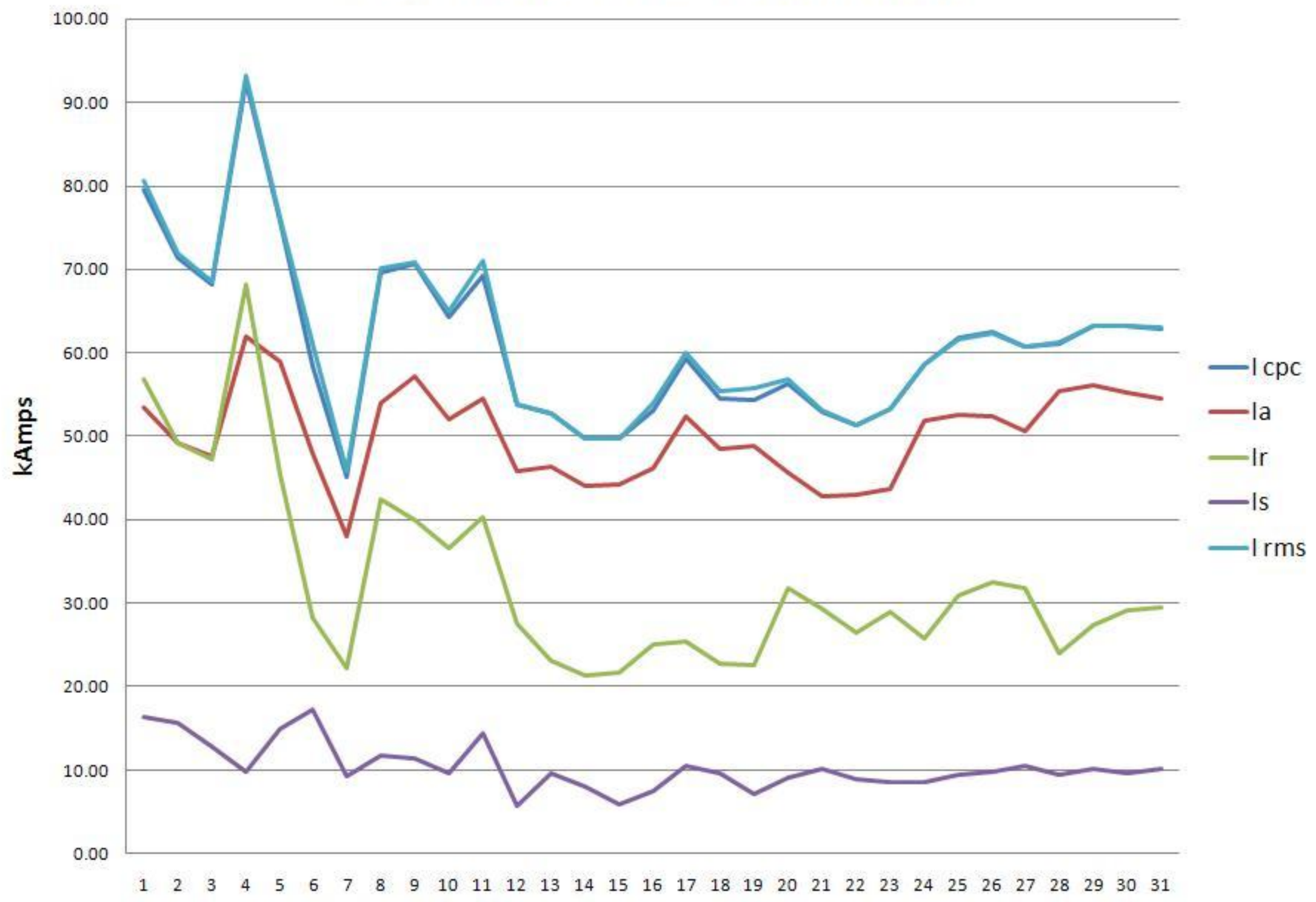
- Procesamiento CPC a datos de simulación de Arco Eléctrico en “MatLab-Simulink”
    - Potencias de Distorsión vs Dispersión
      - Dispersión es menor que Distorsión.
    - Comparación de Potencias Reactivas (QF, QC)
      - QC esta asociada a la susceptancia para todo orden armónico.
    - Comparación de Factores de Potencia de desplazamiento y totales
-

---

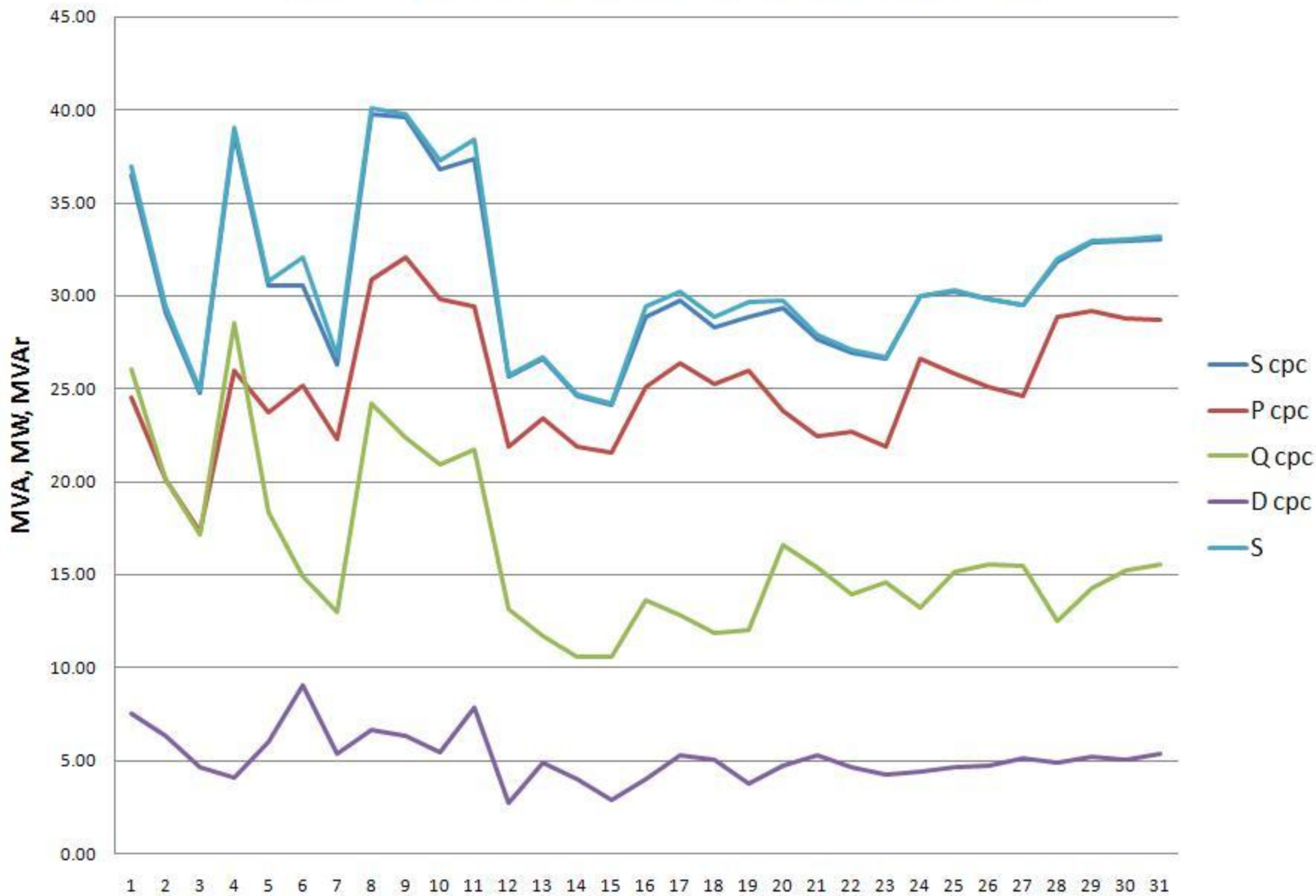
# Análisis CPC de Mediciones

- Datos Medidos HAE-TAMSA
    - Análisis de los componentes de la corriente física
      - Corrientes activa, reactiva y dispersión
    - Comparación de potencias reactivas (QF, QC)
    - Comparación Indicadores de distorsión armónica
      - THD de corriente “física” y de dispersión”
      - THD de corrientes activa y reactiva
-

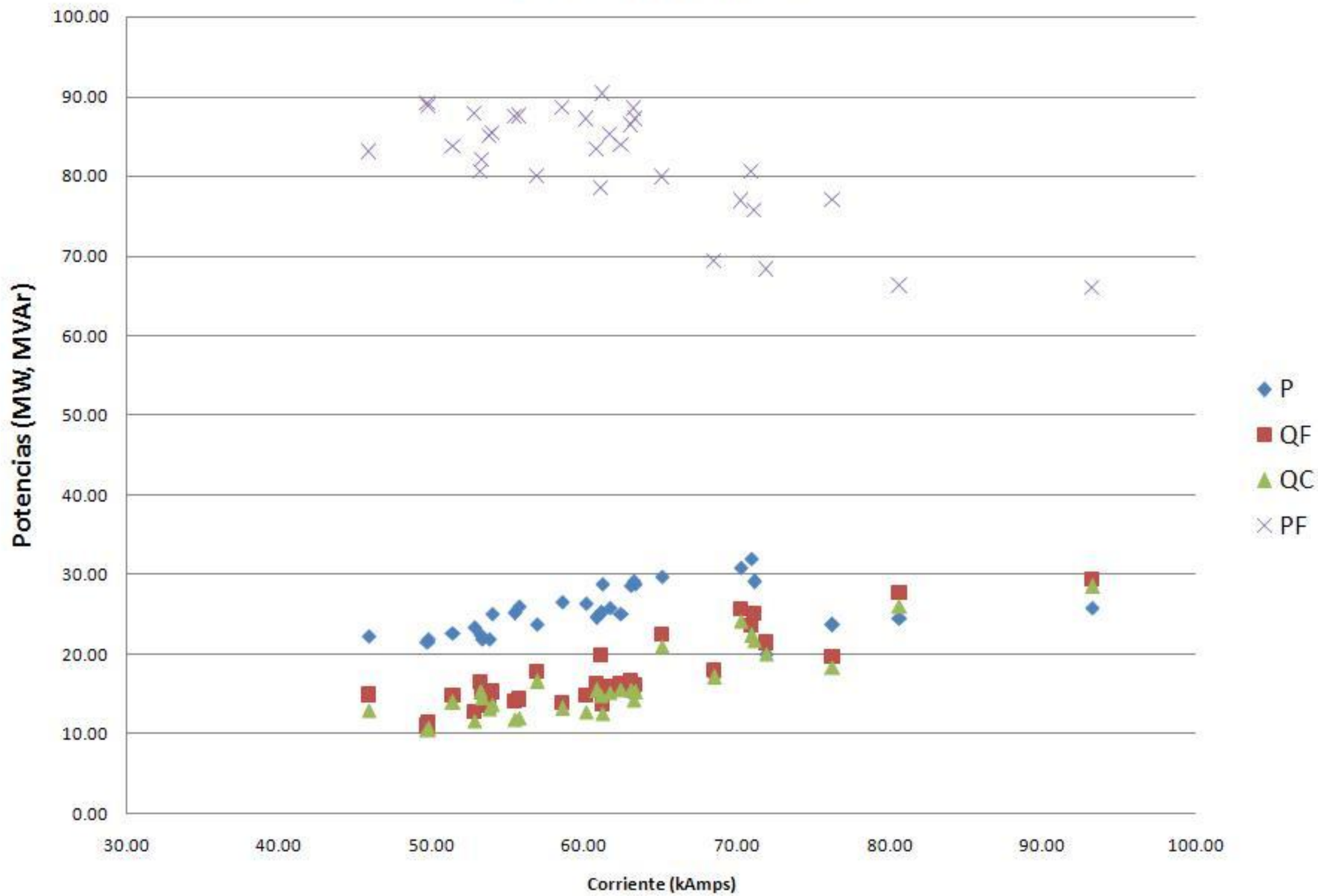
# Componentes de la Corriente Física (CPC)



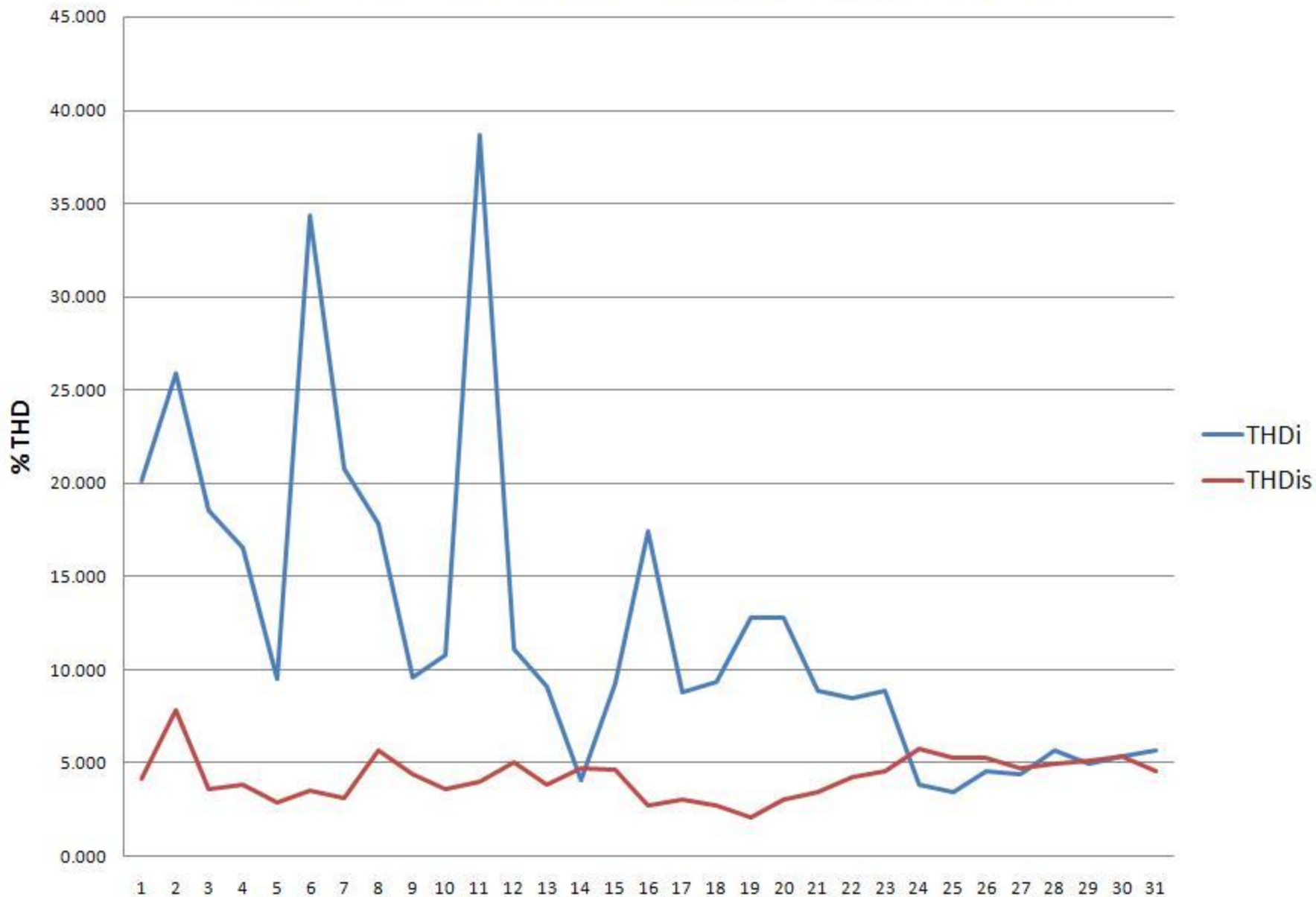
## Potencias aparente, activa, reactiva y de dispersión



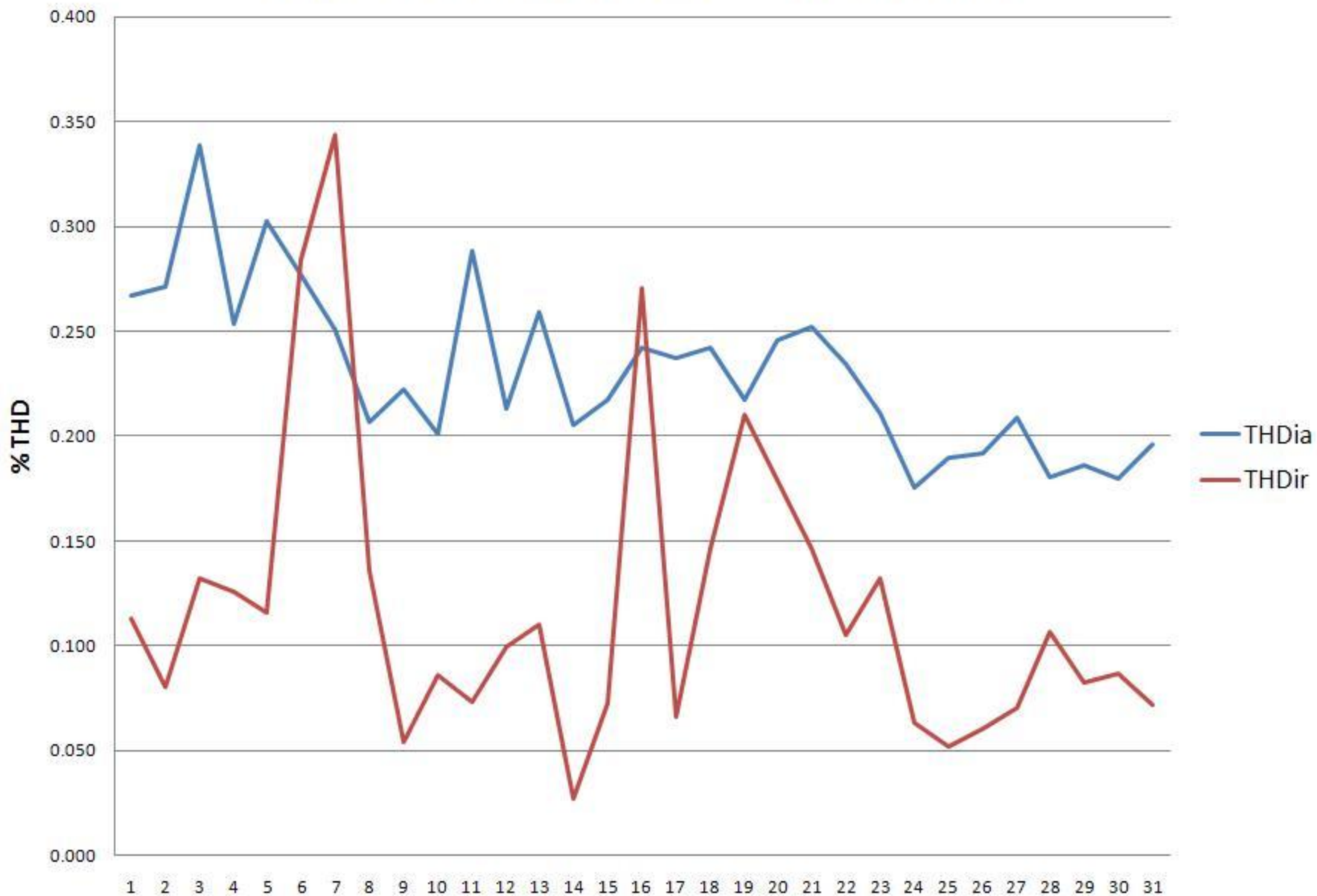
# Curvas de Potencia



## Distorsión armónica corriente física(RMS) y de dispersión



## Distorsión armónica de corrientes activa y reactiva



---

# Pasos Siguietes

- Desarrollo del sistema de medición
    - Procesamiento CPC de formas de onda de voltaje y corriente.
    - Capacidad de colección de datos de coladas completas.
    - Pruebas con sistema trifásico de lámparas.
  - Defensa formal del tema de tesis
  - Campaña de mediciones en plantas:
    - Ternium Largos Norte
    - Tamsa
-

---

# Gracias por su Atención!



**TECNOLOGICO  
DE MONTERREY®**

