

## Diapositiva 1: Portada

- **Contenido:**
    - **Evento:** XXVIII Seminario IIAR de Refrigeración Natural para Latinoamérica. Santiago 2025, 6 y 7 de Agosto.
    - **Título:** IMPLEMENTACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA OPTIMIZACIÓN Y SEGURIDAD DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN NATURAL CON AMONIACO Y CO<sub>2</sub>.
    - **Ponente:** José Luis Soto.
  - **Análisis y Significado:** La portada establece el contexto: una presentación técnica en un seminario especializado de la industria de la refrigeración. El título es claro y ambicioso, prometiendo abordar tanto la optimización (eficiencia) como la seguridad, dos pilares fundamentales en plantas que utilizan amoniaco.
- 

## Diapositiva 2: La IA en la Refrigeración Industrial

- **Contenido:**
  - **El Paradigma de la Industria 4.0:**
    - **Transformación digital:** De sistemas reactivos a sistemas predictivos.
    - **Machine Learning:** Capacidad de aprender patrones complejos en datos operacionales.
    - **Optimización continua:** Algoritmos que mejoran constantemente su rendimiento.
  - **¿Por qué IA en Refrigeración?:**
    - **Sistemas complejos:** Múltiples variables interrelacionadas (presión, temperatura, flujo).
    - **Patrones no lineales:** Comportamientos difíciles de modelar con lógica tradicional.
    - **Optimización multiobjetivo:** Balance entre eficiencia, seguridad y costo operacional.

- **Predicción de fallos: Mantenimiento predictivo vs. correctivo.**
  - **Análisis y Significado:** Esta diapositiva establece el "porqué". Justifica la necesidad de la IA en refrigeración, enmarcándola en la tendencia global de la Industria 4.0. Argumenta que los sistemas de refrigeración son demasiado complejos para los controles tradicionales (reactivos) y que la IA es la herramienta ideal para manejar esa complejidad, predecir fallos y optimizar múltiples objetivos simultáneamente.
- 

### **Diapositiva 3: Machine Learning Aplicado a Refrigeración**

- **Contenido:**
    - **Desafíos Específicos del NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>:** Propiedades termodinámicas únicas, rangos de operación críticos, interacciones complejas.
    - **Tipos de Algoritmos Aplicables:** Redes neuronales (relaciones no lineales), algoritmos de regresión (predicción de variables), sistemas de clasificación (identificación de estados), algoritmos de optimización (control predictivo mejorado).
    - **Ventajas del Aprendizaje Específico por Planta:** Personalización, aprendizaje incremental, adaptación a cambios.
  - **Análisis y Significado:** Se profundiza en el "cómo". Reconoce que los refrigerantes naturales tienen sus propios desafíos. Luego, presenta la "caja de herramientas" del Machine Learning, asociando cada tipo de algoritmo a una tarea específica. Finalmente, destaca una ventaja clave: la solución no es genérica, sino que aprende y se adapta a las particularidades de cada planta.
- 

### **Diapositiva 4: Modelo Predictivo con Inteligencia Artificial**

- **Contenido:**
  - **Diagrama IPO (Input-Process-Output):**
    - **Entrada del Modelo (I):** Variables principales, variables auxiliares.

- **Procesamiento Inteligente (P):** Correlaciones matemáticas, cálculo de parámetros, análisis comparativo.
    - **Salida del Sistema (O):** Predicción de parámetro, recomendación de control, índice de confianza.
  - **Análisis y Significado:** Simplifica el concepto de IA en un flujo lógico y comprensible. Demuestra que el sistema toma datos brutos (entrada), los procesa con inteligencia (donde ocurre la "magia") y entrega resultados accionables y medibles (salida), incluyendo un "Índice de confianza" para que el usuario sepa qué tan seguro está el modelo de su predicción.
- 

#### **Diapositiva 5: Proceso de Entrenamiento**

- **Contenido:**
    - **Pasos:** Toma de datos -> Procesamiento -> Validación cruzada -> Implementación gradual -> Ajuste fino.
    - **Detalles Clave:**
      - **Toma de datos:** Mínimo 3-6 meses de operación.
      - **Procesamiento:** Normalización y filtrado de ruido.
      - **Validación cruzada:** División 70% entrenamiento, 30% validación.
      - **Implementación gradual:** Funciona en segundo plano antes de tomar el control.
    - **Resultado Final:** Copiloto de operación.
  - **Análisis y Significado:** Esta diapositiva es crucial para gestionar las expectativas. Muestra que la implementación es un proyecto estructurado y riguroso. La necesidad de 3-6 meses de datos subraya la importancia de la adquisición de datos históricos. El concepto de "implementación gradual" (o "modo sombra") es una práctica excelente para ganar confianza en el sistema sin arriesgar la operación. El término "Copiloto" es clave: la IA es una herramienta de apoyo para el operador, no un reemplazo.
-

## Diapositiva 6: Arquitectura Técnica del Sistema

- **Contenido:**
    - **Ciclo de 6 etapas:**
      1. **Sensores:** Captura en tiempo real.
      2. **Adquisición:** Almacenamiento y gestión de datos.
      3. **Procesamiento:** Limpieza y normalización.
      4. **Modelo IA:** Análisis y predicción.
      5. **Control:** Decisiones operativas.
      6. **Actuadores:** Ejecución física.
    - **Análisis y Significado:** Presenta el sistema como un ciclo cerrado y autónomo (un sistema ciberfísico). Muestra cómo los datos fluyen desde el mundo físico (sensores), son procesados por la IA, que toma decisiones (control) y las ejecuta de nuevo en el mundo físico (actuadores). Esto es el corazón de la automatización inteligente.
- 

## Caso de Estudio 1: Sobreinundación en Evaporadores (Diapositivas 7-13)

### Diapositiva 7-9: El Problema de la Sobreinundación

- **Contenido:** Se describe un problema común: la paradoja operacional. Un evaporador sobreinundado aumenta la presión estática. El control tradicional interpreta esto como una falta de evaporación y responde inyectando más líquido, lo que agrava el problema. Las consecuencias son ineficiencia energética, riesgo operacional e impacto en la seguridad.
- **Análisis:** Este es un ejemplo perfecto para demostrar la falla de la lógica de control simple y la necesidad de un sistema que entienda las complejas interacciones físicas.

### Diapositiva 10-12: La Física del Problema

- **Contenido:** Se presentan las fórmulas de la física que gobiernan el fenómeno: la presión estática ( $dP = \rho \cdot g \cdot dz$ ), la presión dinámica y las correcciones por fricción y mezcla de fases.

- **Análisis:** Se fundamenta el problema en principios de ingeniería. Muestra que el comportamiento es matemáticamente complejo pero modelable. La diapositiva 12 marca explícitamente estas fórmulas como el "INPUT PRINCIPAL" para el modelo de IA, indicando que el ML no es magia, sino matemática aplicada a datos físicos.

#### **Diapositiva 13: Demostración Práctica**

- **Contenido:** Compara dos escenarios: un tubo con 60% de líquido y otro con 30%. Demuestra que la caída de presión ( $\Delta P$ ) es mayor en el caso con más líquido ( $\Delta P = \text{CASO 1} > \text{CASO 2}$ ).
- **Análisis:** Traduce la teoría y las fórmulas en una demostración visual y fácil de entender. La caída de presión diferencial se revela como una variable clave que el sistema de IA puede usar para "ver" el nivel de líquido dentro de la tubería sin un sensor de nivel directo.

### **Caso de Estudio 2: Balance de Masas y Flujo del Compresor (Diapositivas 14-20)**

#### **Diapositiva 14-16: El Desafío del Balance de Masas**

- **Contenido:** Se muestra un diagrama de un sistema y su ecuación de balance de masas. Se plantea la pregunta: ¿cómo obtener los valores de flujo necesarios para la ecuación? La respuesta está en los datos que los microprocesadores de los compresores ya pueden proporcionar (capacidad, potencia, posición de la válvula).
- **Análisis:** Conecta la necesidad teórica (balance de masas) con las fuentes de datos prácticas y existentes en la planta. Demuestra que gran parte de los datos necesarios ya se están generando.

#### **Diapositiva 17-20: Predicción del Flujo del Compresor**

- **Contenido:** Se plantea el reto: predecir el flujo másico a partir de la capacidad del compresor. Se usan datos del fabricante, se prueban varios modelos matemáticos (regresión lineal, polinomial) y se elige el mejor usando el indicador de calidad  $R^2$ . El resultado es una fórmula de alta precisión (99.99% de acierto, error de  $\pm 3$  kg/h ). Se muestra un ejemplo de cálculo.
- **Análisis:** Este es un caso de estudio brillante sobre la creación de valor. Demuestra cómo, a partir de una simple tabla de datos del fabricante, el

**ML puede generar una herramienta predictiva extremadamente precisa y útil. Traduce conceptos de ciencia de datos ( $R^2$ , regresión) en beneficios tangibles: ahorro de tiempo y dinero en pruebas y una herramienta confiable para diseño y operación.**

---

#### **Diapositiva 21: Variables que se Pueden Obtener**

- **Contenido:**
    - **Recapitulando (Inputs):** Presiones, potencias absorbidas, pérdidas de carga.
    - **¿Qué puedo estimar? (Outputs):** Calidad o título de la mezcla, relación de inundación, predecir eventos catastróficos.
  - **Análisis:** Sintetiza lo aprendido en los casos de estudio. Resume qué datos se necesitan y qué conocimiento valioso se puede generar a partir de ellos, elevando el objetivo final a la predicción de eventos catastróficos.
- 

#### **Caso de Estudio 3: Consumo Frigorífico (Diapositivas 22-25)**

##### **Diapositiva 22-25: Predicción del Consumo Real**

- **Contenido:** Se aborda la diferencia entre la capacidad nominal del equipo (datasheet) y el consumo frigorífico real y puntual. Se explica que el consumo real depende de muchos factores (ingreso de producto, infiltraciones). Se propone calcularlo conociendo el caudal de refrigerante y el cambio de estado (entalpía), lo cual se puede estimar a partir de datos de las válvulas y el balance de entalpía (diagrama P-h).
  - **Análisis:** Ataca otra pregunta clave de la operación: "¿cuál es mi carga térmica *ahora mismo*?". Muestra que la respuesta no es un valor fijo, sino dinámico. El personaje preguntando "¿Y ahora que hago con todos estos datos?" es el gancho perfecto para introducir la solución final e integradora.
- 

#### **La Solución Integrada: Machine Learning + RAG (Diapositivas 26-27)**

##### **Diapositiva 26: Implementación con LLM (Large Language Model)**

- **Contenido:** Presenta la solución como la unión de dos pilares de la IA:
  1. **Machine Learning (ML):** Los "cerebros" que aprenden de los datos de la planta.
  2. **Retrieval-Augmented Generation (RAG):** El "experto documentado" que diagnostica y recomienda.
- **Análisis:** Este es un punto de inflexión en la presentación. Se pasa de modelos predictivos numéricos a un sistema de conversación inteligente. Se revela que la solución no solo calcula, sino que también "sabe" y "razona" a partir de documentación técnica.

#### **Diapositiva 27: Sistema RAG para Refrigeración Industrial con NH<sub>3</sub>**

- **Contenido:** Muestra un flujo de trabajo detallado:
  1. Un operador hace una pregunta compleja en lenguaje natural.
  2. El sistema procesa la pregunta.
  3. Busca en su Base de Conocimiento (tablas, manuales, protocolos de seguridad, históricos).
  4. Una IA Generativa combina la información recuperada con el contexto operativo.
  5. Entrega una respuesta completa, incluyendo diagnóstico, acciones recomendadas, advertencias de seguridad y las fuentes de su información.
- **Análisis:** Esta es la diapositiva más impactante. Demuestra el potencial transformador de la solución. El sistema actúa como un ingeniero experto instantáneo, que no solo tiene los datos en tiempo real de la planta, sino que ha "leído" todos los manuales y procedimientos. Es el "Copiloto de operación" en su máxima expresión.

---

#### **Diapositivas Finales (28-30)**

##### **Diapositiva 28: Implementación y Fases de Desarrollo**

- **Contenido:** Detalla un plan de implementación en 3 fases:
  1. **Caracterización y Recopilación de Datos.**

## **2. Desarrollo y Entrenamiento del Modelo.**

## **3. Implementación y Validación (incluyendo "modo sombra" y pruebas piloto).**

- **Análisis:** Aterriza la visión tecnológica en un plan de proyecto práctico y realista. Refuerza que es un proceso metódico que asegura la fiabilidad antes del despliegue total.

### **Diapositiva 29: Beneficios de la Implementación de IA**

- **Contenido:** Cuantifica los beneficios con métricas impresionantes:
  - **95% Precisión Predictiva.**
  - **<2s Tiempo de Respuesta (vs. 30 min).**
  - **25% de Reducción en Consumo de Compresores.**
  - **80% de Reducción en Fluctuaciones de Temperatura.**
- **Análisis:** Esta es la "diapositiva del valor". Resume todo el trabajo técnico en un conjunto de KPIs claros y atractivos que justifican la inversión desde una perspectiva de negocio (eficiencia, estabilidad, seguridad, disponibilidad).

### **Diapositiva 30: Muchas Gracias**

- **Contenido:** Cierre de la presentación.
- **Análisis:** Conclusión formal.