



Capítulo 2 — Incubación avícola: El aire que da vida



Fig. 1. Surgimiento de la vida

El aire también se diseña

Antes de ver la luz, antes de emitir sonido alguno, antes de romper el cascarón.

El primer entorno de vida es el aire.

Cuando se habla de la industria avícola, la mayoría piensa en granjas, alimento balanceado o cadenas de frío. Pocas veces se habla del aire. Sin embargo, en una incubadora industrial, la temperatura, la humedad y la composición gaseosa no son variables ambientales: **son condiciones de vida.**

Este capítulo trata de eso: De cómo medir correctamente el aire puede cambiar por completo un proceso biológico, económico y productivo.

1. Contexto del proceso: cuando cada huevo es una variable crítica

La planta donde se desarrolló este proyecto es una incubadora industrial integrada y diseñada para abastecer de pollito recién nacido a granjas de engorda que posteriormente alimentarán a millones de personas en México.

La instalación cuenta con 36 incubadoras industriales, organizadas en bloques de 6 para su control. En operación diaria trabajan alrededor de 30 incubadoras, cada una con una capacidad aproximada de 115,200 huevos.

Si consideramos un valor estimado de 10 MXN por huevo, el impacto económico de cualquier desviación en el proceso es inmediato y significativo.

La incubación no admite margen de error.

Lo que sucede en estos 21 días define la viabilidad, la salud y el rendimiento productivo del ave durante toda su vida.

Aquí, la estabilidad del sistema no es un lujo: **es una condición de supervivencia.**



Fig. 2. Incubadora industrial



2. Un proceso biológico extremadamente sensible

El objetivo de una incubadora industrial es reproducir las condiciones naturales de incubación, pero de forma controlada, repetible y a gran escala.

Las variables críticas son tres:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Concentración de CO₂

Sin embargo, estas variables no deben mantenerse constantes. Cambian conforme avanza el desarrollo embrionario.

Durante los días 1 al 18, la temperatura se mantiene entre 37.5 y 38 °C, con humedades relativas del 50 al 65 %. En los días 19 al 21 —etapa de eclosión— la temperatura disminuye ligeramente y la humedad se eleva hasta valores entre 70 y 90 %.

En esta fase final, una humedad elevada permite que el cascarón se vuelva más flexible, facilitando que el pollito lo rompa sin dañar su pico. Un mal control puede provocar deformaciones, estrés o incluso la muerte del embrión.

El CO₂, por su parte, aumenta de forma natural conforme el embrión crece. Su control adecuado influye en el metabolismo, la respiración embrionaria y la sincronización de la eclosión.

En términos de ingeniería de control, se trata de un sistema dinámico altamente sensible, donde pequeñas desviaciones generan efectos acumulativos.

Aquí, medir mal equivale a criar mal.



Fig. 3. Sensores para medir humedad relativa y temperatura



Fig. 4. Cámara de pruebas, condiciones ambientales

3. El problema: cuando la medición deja de ser confiable

Antes del proyecto, la planta operaba con tecnología de medición ya superada:

- Termopares para temperatura
- Sensores capacitivos antiguos para humedad
- Sensores infrarrojos de CO₂ de generaciones anteriores

Cada variable se medía con sensores independientes, muchos de ellos desechables y sin posibilidad real de calibración.

Los problemas eran claros:

- Desviación en la medición
- Falta de repetibilidad
- Deriva con el tiempo
- Poca confianza del operador
- Mantenimiento reactivo
- Decisiones de control basadas en datos inciertos

El impacto no era teórico.

Se registraban hasta 15 % de mala eclosión, además de pollitos con baja vitalidad o deformaciones en el pico.

Cuando la medición es incierta, el proceso se vuelve inestable. Y cuando el proceso es biológico, la inestabilidad tiene consecuencias irreversibles.



4. La propuesta: reducir variabilidad, no solo cambiar sensores

La solución no fue simplemente “poner sensores nuevos”.

Fue rediseñar la forma de medir.

Se propuso el reemplazo por tecnología de mayor precisión y estabilidad a largo plazo, integrando sensores de humedad, temperatura y CO2 con mejor desempeño metrológico y posibilidad de verificación periódica.

El criterio no fue la marca, sino:

- Precisión y baja incertidumbre
- Estabilidad a largo plazo
- Repetibilidad
- Facilidad de calibración
- Confiabilidad en ambientes críticos

Se inició con un piloto en un bloque de 6 incubadoras, integradas al sistema de control existente.

Desde el punto de vista de ingeniería, el objetivo era claro:

Reducir ruido en la medición para reducir variabilidad en el proceso.

5. Convencer con evidencia

El mayor reto no fue técnico. Fue cultural. Las objeciones eran conocidas:

- “Siempre lo hemos hecho así”
- “Está muy caro”
- “No hace diferencia”
- “Los sensores actuales funcionan”

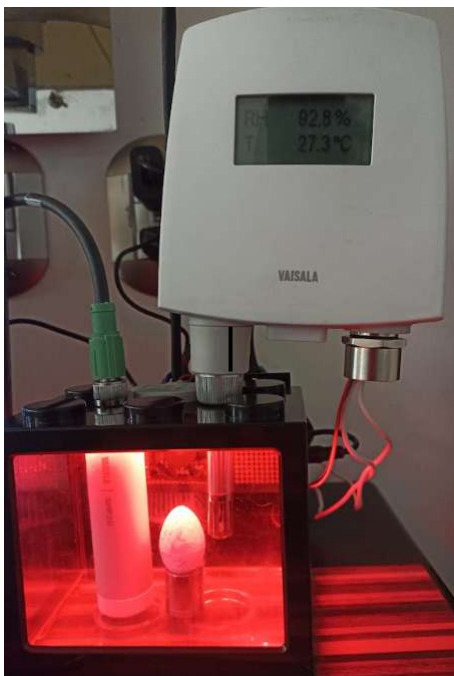


Fig. 5. Simulación del proceso

La respuesta no fue un PowerPoint.

Para sustentar la propuesta, construí una simulación física de incubadora, integrando los nuevos sensores a un microcontrolador ESP32 con visualización de datos en tiempo real.

La simulación permitió:

- Comparar desviaciones frente a la tecnología anterior
- Mostrar estabilidad en medición continua
- Evidenciar menor deriva
- Demostrar integración limpia con el sistema de control

No fue una presentación.

Fue una demostración.

Y cuando los datos son claros, la resistencia disminuye.

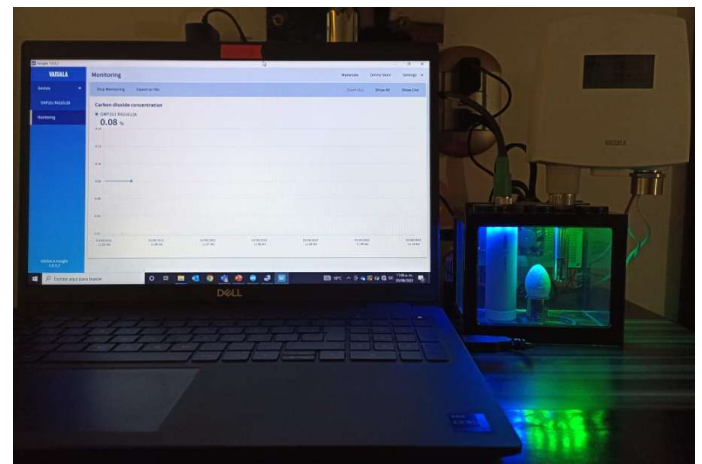


Fig. 6. Análisis de datos del proceso

6. Implementación y transferencia de conocimiento

La sustitución de sensores se realizó durante mantenimientos programados. Cada equipo fue instalado, verificado y documentado correctamente.

Se capacitó a aproximadamente 10 personas entre mantenimiento e ingeniería, cubriendo:

- Instalación adecuada
- Configuración
- Operación diaria
- Buenas prácticas
- Verificación y calibración

La simulación física volvió a ser clave, permitiendo al personal visualizar cómo pequeñas desviaciones impactaban directamente en el resultado biológico.

Cuando el operador entiende el sistema, el proceso mejora.



7. Resultados medidos, no percibidos

Tras dos ciclos completos de incubación, los resultados fueron claros:

- La mala calidad se redujo de 15 % a un promedio del 8 %
- Mejoró la tasa de eclosión
- Aumentó la vitalidad del pollito
- Se estabilizó el proceso
- Creció la confianza del operador

Validado el piloto, la sustitución se realizó por etapas, reemplazando bloques de 6 incubadoras en cada mantenimiento programado.

La mejora no fue solo técnica.

Fue económica, operativa y cultural.

8. Reflexión: el aire como infraestructura invisible

Este proyecto me dejó una lección clara:

Medir la calidad del aire es tan importante como medir la calidad del agua.

En industrias biológicas críticas, el aire no es un fondo ambiental. Es infraestructura invisible.

Además, estas instalaciones operan bajo estrictos protocolos de bioseguridad. Están alejadas de zonas urbanas y requieren procesos rigurosos de desinfección para su acceso. La estabilidad del proceso no solo impacta productividad, sino también la protección de toda una cadena alimentaria.

Un sensor no solo mide una variable. Puede definir la salud de un ser vivo.

En una incubadora industrial no se controla únicamente temperatura, humedad o CO₂.

Se controla el primer entorno de vida.

Y cuando el aire se diseña con precisión, la vida responde con eficiencia.

Este capítulo forma parte de la SERIE 3 — Las industrias que respiran, donde se presentan proyectos de ingeniería que mueven al mundo desde un enfoque técnico comprensible.

Gracias por leer :)

Más información:

<https://innovacioneningeneria.com/contacto/>



Fig. 7. Manifestación de la vida, para sostener la vida