

Detección de fallas en procesos industriales

Proyecto no. 2

1. Antecedentes

El curso de detección de fallas en procesos industriales tiene como propósito formar al estudiante en temáticas relacionadas al desarrollo de sistemas de detección y diagnóstico de fallas en sistemas dinámicos. En este contexto, este proyecto implica el desarrollo de un sistema de detección y diagnóstico de fallas (FDD – *Fault Detection and Diagnosis*) usando técnicas de estadística univariada, bivariada y multivariada, además de técnicas de inteligencia artificial.

Este proyecto replica el comportamiento dinámico de la última etapa de transformación primaria del cemento¹, circuito cerrado de molienda de cemento, en el que se involucran 31 variables de operación y donde además se registran múltiples eventos de operación, incluyendo paradas de emergencia, paradas programadas, deficiencia en la alimentación de materia prima del sistema y eventos de operación regular del sistema. El objetivo primario del sistema FDD que se propone desarrollar implica generar alertas de operación irregular del sistema a través de identificación de modos de operación del sistema.

2. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es: Diseñar e implementar, a través de herramientas estadísticas y de inteligencia artificial, un sistema FDD capaz de identificar estados operativos del circuito de molienda de cemento, entre los que se incluyen estados asociados a fallas y/o deficiencias operativas del sistema.

Los objetivos particulares son:

- Desarrollar el diagrama de instrumentación asociado al sistema de molienda de cemento usando la norma [ISA S5.1R1992](#)
- Pre-procesar la base de datos de operación del circuito de molienda de cemento y determinar las variables de operación principales del sistema (análisis de correlación y de redundancia de vectores)
- Identificar los siguientes estados operativos a través de **análisis de las variables principales**:
 1. Bajo flujo de alimentación (*Low inflow feed*)
 2. Flujo de recirculación elevado (*Circulating overflow*)
 3. Flujo de recirculación bajo (*Low circulating flow*)
 4. Falla de puzolana (*Pozzolane*)
 5. Operación de control atípica (*Atypical control*)
 6. Estado operativo anormal del sistema (*System failure*)
- Implementar alarmas de visualización de las fallas 1 a 6 descritas en el objetivo previo
- Realizar un reporte que incluya mínimamente: i) introducción; ii) descripción metodológica; iii) análisis de resultados; y iv) conclusiones.

¹ Este comportamiento forma parte de una base datos confidencial que se solicita usar con discreción

3. Descripción problemática

El paso final en el proceso de manufactura del cemento consiste en la transformación del clinker en polvo de cemento. Típicamente, un molino rotatorio con bolas de acero se utiliza para este propósito. El circuito de molino de cemento está compuesto del molino de bolas y un separador. El molino de bolas tritura el material que ingresa a éste, para convertirlo en polvo de cemento. La problemática de alimentar correctamente el molino de cemento ha sido objetivo de varios estudios [1], [2], debido a que alimentar con poco material el molino produce un ineficiente uso de las bolas giratorias, al igual que fricción entre ellas y desgaste energético innecesario. Por otro lado, una carga excesiva podría incluso producir taponamientos. Consecuentemente, la correcta supervisión y control de esta etapa de la manufactura es muy importante para generar eficiencia en la planta de cemento, minimizando por ejemplo el consumo de energía eléctrica y entregando un producto final dentro de las especificaciones de calidad que requiere la planta [3].

Debido a la importancia que presenta mejorar la operación del circuito de molienda de cemento, con propósitos de generar eficiencia energética y una operación confiable, *i.e.* estandarizar criterios de operación entre panelistas, maximizar la producción y mantener una calidad de producto con menor variabilidad, se propone el desarrollo de un sistema de detección y diagnóstico de fallas (FDD) que permita alertar a los operadores y a los encargados de la planificación de mantenimientos predictivos y correctivos en la planta, tomar decisiones de operación y de planificación de mantenimientos.

En consecuencia, la gerencia de esta empresa manufacturera lo han contratado para desarrollar un sistema FDD cuya funcionalidad se compruebe en un sistema informático que emula la operación del circuito de molienda de cemento y está disponible para su uso. La funcionalidad del sistema debe cumplir las siguientes especificaciones:

1. Interfaz HMI que contenga, mínimamente, indicadores de alarmas booleanas asociadas a los estados operativos 1 a 6 de los objetivos específico (ver Figura 1 para referencia)

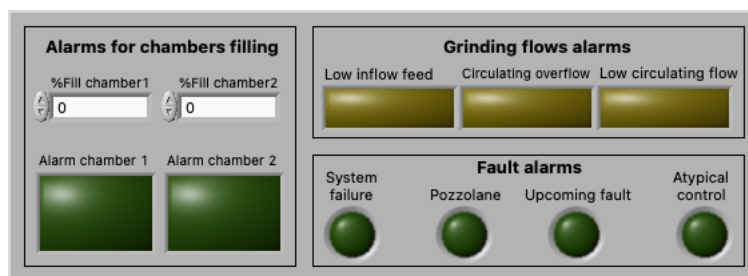


Figura 1: Indicadores de alarmas de estados operativos manejados por el FDD

2. Programación de contraseña para el acceso a cambios de cajas de texto asociadas al manejo de alarmas (ver Figura 2 para referencia)

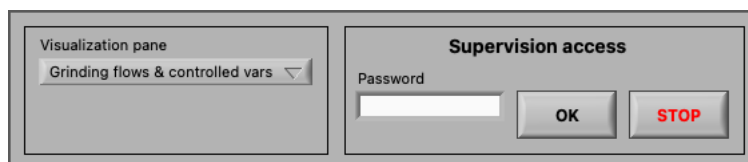
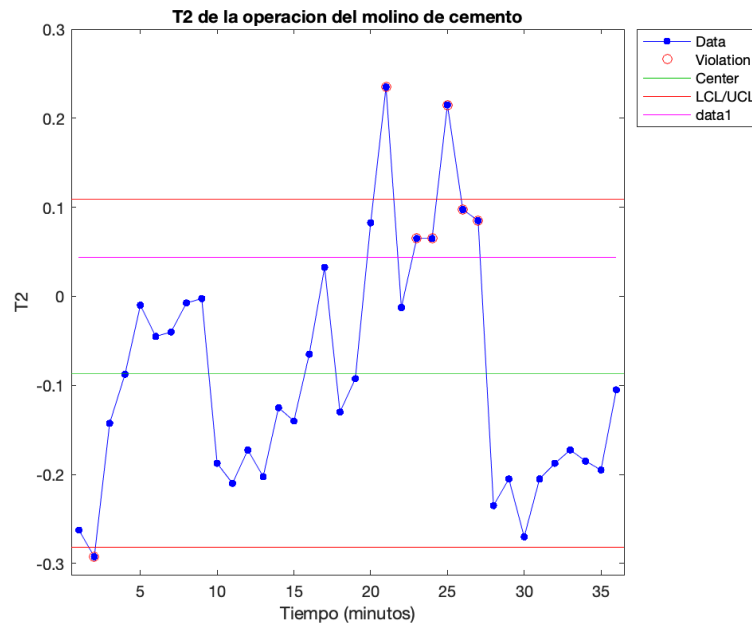


Figura 2: Ingreso de contraseña para privilegios de cambios

3. Integrar una gráfica de control asociada al estadístico T^2 que permita identificar de forma visual estados operativos anormales del sistema (ver Figura 3 para referencia)



4. El desempeño del sistema FDD debe apegarse a los siguientes requerimientos:
- Identificar, mínimamente, los siguientes estados operativos:
 - Bajo flujo de alimentación (*Low inflow feed*)
 - Flujo de recirculación elevado (*Circulating overflow*)
 - Flujo de recirculación bajo (*Low circulating flow*)
 - Falla de puzolana (*Pozzolane*)
 - Operación de control atípica (*Atypical control*)
 - Estado operativo anormal del sistema (*System failure*)
 - *Predicción de alguna falla (upcoming fault) usando alguna de las siguientes técnicas de detección y diagnóstico de fallas*
 - *Filtro de Kalman*
 - *Redes neuronales artificiales*
 - El sistema promueve el ahorro energético a través de la estimación del consumo de energía (*kWh*) en cada estado operativo, generando un reporte que muestra en forma descendente los estados operativos con mayor consumo (este reporte servirá como base de toma de decisiones en la operación del molino de cemento)
5. La documentación del proyecto (reporte) debe incluir en detalle, mínimamente, las siguientes secciones:
- Introducción. Esta sección debe incluir el contexto del proyecto, además de la justificación problemática. Es recomendable usar referencias bibliográficas en el soporte del problema de investigación/desarrollo.
 - Descripción metodológica. Esta sección debe incluir todos los recursos disponibles para la exposición de la solución propuesta, entre los que se incluyen: i) diagramas de

instrumentación; ii) diagrama de flujo asociados al mecanismo de detección de cada estado operativo; iii) descripción metodológica, etc.

- Análisis de resultados. Esta sección debe incluir el análisis de respuesta del sistema FDD que indique el cumplimiento de los requerimientos descrito en el punto anterior. **Se debe incluir la evaluación de los clasificadores de fallas usando metodologías formales para este propósito, como la matriz de confusión y la curva ROC.**
- Conclusiones. Las reflexiones del desarrollo metodológico y del análisis de resultados convergen en esta sección.
- Referencias. Citar todas las referencias usadas a lo largo del proyecto; se recomienda usar el formato IEEE o APA.

4. Rúbrica

No.	Cumple con los requerimientos	Cumple parcialmente con los requerimientos	No cumple con los requerimientos
1. Interfaz hombre máquina Sección 3.1 de este documento	20%	15%	10%
2. Operación del sistema Sección 3.2 de este documento	50%	35%	25%
3. Reporte del proyecto Sección 3.3. de este documento	20%	15%	10%
4. Sustentación del proyecto Implica una sustentación virtual el día de la presentación del proyecto	10%	7%	5%

5. Fechas

La fecha de entrega (improrrogable) es el miércoles 3 de febrero de 2020 hasta las 18h00.

Referencias

- [1] F. Grogard, F. Jadot, L. Magni, G. Bastin, R. Sepulchre, and V. Wertz, "Robust stabilization of a nonlinear cement mill model," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 2001.
- [2] L. Magni, G. Bastin, and V. Wertz, "Multivariable nonlinear predictive control of cement mills," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 502–508, 1999.
- [3] L. I. Minchala, Y. Zhang, and L. Garza-Castanon, "Predictive Control of a Closed Grinding Circuit System in Cement Industry," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2018.

ANEXO

1. Mapa de variables

Las variables de operación registradas en la base de datos 'grindingData.txt', tienen el orden que se presenta en la Tabla A1.

Tabla A1. Mapa de variables de la base de datos de operación del sistema

No.	Nombre de la variable	No.	Nombre de la variable
1	TIME STAMP	2	SETPOINT ADITIVO (&)
3	LLENADO CAMARA 2 (%)	4	LLENADO CAMARA 1 (%)
5	FLUJO DE RECIRCULACION (TPH)	6	ALIMENTACION (TPH)
7	TONELAJE DOSIF ADITIVO (TPH)	8	TONELAJE DOSIF CLINKER
9	TONELAJE DOSIFICADOR YESO (TPH)	10	NIVEL SILO (TOTALIZADOR)
11	FLUJO MASICO PUZOLANA (TPH)	12	CORRIENTE MOTOR G20 (A)
13	TEMPERATURA DEL MATERIAL DE DESCARGA (°C)	14	TEMPERATURA DE SALIDA GASES MOLINO (°C)
15	CORRIENTE VENTILADOR G25 (A)	16	CORRIENTE ELEVADOR G31 (A)
17	POTENCIA ELEVADOR G31 (W)	18	CORRIENTE SEPARADOR G35 (A)
19	CORRIENTE VENTILADOR G39 (A)	20	GUAPAN\TOTALCEMENPRO
21	TEMPERATURA DE SALIDA SEPARADOR G35 (°C)	22	POTENCIA DEL SEPARADOR G35 (W)
23	PRESIÓN SALIDA SEPARADOR G35	24	VELOCIDAD DEL SEPARADOR G35 (RPM)
25	PRESIÓN DIFERENCIAL COLECTOR G38	26	VELOCIDAD G39 (RPM)
27	POTENCIA REAL DEL MOTOR G39 (W)	28	CORRIENTE ELEVADOR(DESPACHO)
29	CORRIENTE AERODESLIZADOR A()	30	CORRIENTE_ALIMENTADOR (A)
31	CORRIENTE G39 (A)	32	SISTEMA DE PESADO/RETORNO

2. Detalle del HMI

La figura 4 muestra el HMI del sistema que requiere incluir el desarrollo del sistema FDD.

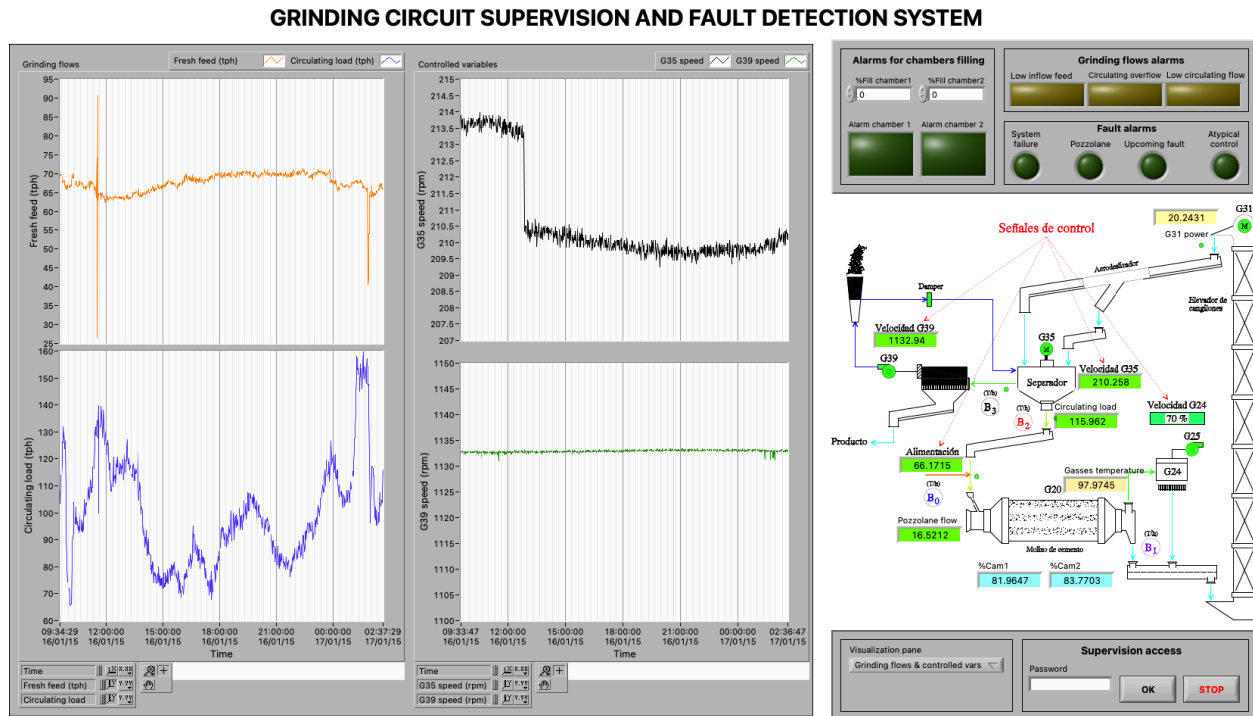


Figura 4: HMI del sistema de monitorización del circuito de molienda de cemento