

## Estado del arte del proyecto: “Modelos inferenciales para calcular índices de desempeño determinísticos que permitan medir el rendimiento y la robustez de los lazos de control de los procesos industriales”

**Autores: Javier Jiménez Cabas - John Gómez Múnera.**

### Resumen:

El proyecto hace énfasis en el monitoreo de lazos de control de procesos industriales. Teniendo en cuenta que la mayoría de procesos están constituidos por muchos de esos lazos y en el cual el correcto funcionamiento es la base de un rendimiento eficiente de todo el sistema. En la mayoría de los casos, los lazos de control están acoplados, es por eso, que el mal funcionamiento de uno de ellos, puede ocasionar pérdidas de eficiencia del proceso completo. El mal funcionamiento de los lazos de control, o el hecho de que estos no estén en puntos de operación óptimos ocasionan derroche de materia prima “en exceso dentro del proceso”, consumo ineficiente de energía y gastos de tiempo por encima de lo estipulado para la producción. Es así, como el proyecto busca abordar el cálculo de índices de desempeños desde un abordaje teórico que permita tomar decisiones de forma pertinente, tales como la corrección de los parámetros de los diferentes controladores, o la sustitución de los actuadores que funcionan como elementos finales de control, esto al considerar que el tiempo puede ocasionar desgastes en los elementos que pueden llegar a producir una merma en la eficiencia del sistema. Por tanto, se busca relacionar índices determinísticos con los estocásticos de la literatura que permitan realizar las acciones de corrección, haciendo uso además de las tecnologías de la industria 4.0, la construcción de modelos con aprendizaje automático y la visualización a través de una interfaz de los índices calculados. El proyecto está planteado para ser trabajado en cuatro fases que componen la columna vertebral del mismo, y una fase adicional para consolidar los resultados y documentar a través de un escrito científico. La primera fase aborda la documentación, el análisis y procesamiento de los datos recopilados de los lazos de control de un proceso, la segunda fase se enfoca en la evaluación de metodologías, el planteamiento y la realización de los índices de desempeño. La tercera fase consiste en la realización de la interfaz que permita el cálculo de los índices partiendo de una configuración, y en la cuarta fase se propende por la validación de modelos en entorno de producción (una planta en la que se puedan tener varios lazos de control). De esta manera, se pretende vislumbrar la importancia de la toma de acciones cuando los lazos de control no muestran índices de desempeño eficientes, ya sea por medio de re-calcular los parámetros o el intercambio de elementos del sistema, todo esto complementado con el uso de nuevas tecnologías.

### Marco teórico:

Dentro de la temática de monitoreo de lazos de control, es indispensable el hablar de los índices de desempeño con el cual se toman las métricas que evalúan y validan el correcto funcionamiento o no de un proceso industrial, Jelali plantea la evaluación del desempeño de los sistemas de control generalmente como un sistema por etapas (Jelali, 2006b) . Índices de

Desempeño • Los índices deben ser sensibles a deficiencias en la sintonía y envejecimiento del modelo, independientemente de las perturbaciones o del espectro del set-point, el cual puede variar ampliamente en una planta. • Los índices deben poder ser calculados a partir de datos obtenidos en condiciones normales de operación (lazo cerrado); de esta manera, los índices empleados deben ser no invasivos. • La calidad de los datos de la planta empleados en la medición del desempeño debe ser verificada a través de la generación de intervalos de confianza. Los datos utilizados no deben ser medidas arbitrarias. • Los índices deberían ser realistas y posibles de calcular bajo restricciones físicas. Deben dar indicios de los motivos del bajo rendimiento en los sistemas de control y deben estar en capacidad de medir las mejoras en el desempeño debidas a modificaciones en el controlador. La naturaleza de los diferentes índices de desempeño son de tipo estocástico o determinístico: Índices de rendimiento estocástico Dentro de los índices de desempeño estocásticos, el más utilizado es el MVI, este tipo de índices permite evaluar CLP (Control Loop Performance) en tiempo real, aunque el mismo posee unos inconvenientes. Índices determinísticos Los índices determinísticos son aquellos que son basados en: Relación de tiempo de subida de lazo cerrado y abierto, margen de ganancia, margen de fase, entre otros. En [13] se menciona que el índice de evaluación del rendimiento de los controladores basado en MVC (Minimal Variance Controller) era difícil de interpretar y no podía evaluar el efecto de los cambios determinísticos en un sistema de lazo cerrado, por lo cual presentó algunos índices alternativos, que requerían los modelos exactos del proceso y el controlador. [14] mencionan que el índice determinístico provee una mejor estimación del rendimiento del lazo que los métodos estocásticos. Sin embargo, La cuantificación en tiempo real de los índices determinísticos es costoso, porque requiere test intrusivos.

#### **Estado del arte:**

La investigación propuesta está considerada para ser implementada en los diferentes contextos industriales, en los cuales se ve involucrado gran cantidad de lazos de control para modelar un proceso en específico, y para el cual un funcionamiento inadecuado de uno de ellos, puede ocasionar un funcionamiento con poca optimalidad y pérdida de eficiencia con el transcurso del tiempo. Es de esta manera como el monitoreo de desempeño de los lazos de control (CPM) son indispensables para en los procesos industriales y la toma de decisiones derivado del monitoreo. El siguiente análisis son base de la propuesta de investigación: En los procesos productivos se utilizan estrategias de optimización y control para obtener mejores desempeños. Se estima que a nivel mundial hay más de tres millones de lazos de control en las industrias de procesos productivos continuos [8], y alrededor de diez mil ingenieros de control de procesos [9], lo que significa que en promedio cada ingeniero es responsable de al menos 300 lazos de control. No obstante, hay estudios que sugieren una cifra mayor: 450 lazos por ingeniero [3]. Esto, sumado a la alta complejidad de los procesos industriales, hace prácticamente imposible que el personal de planta mantenga los lazos de control operando a su máximo desempeño sin la ayuda de una herramienta de monitoreo. Por ello, diversas investigaciones enfocadas en el desarrollo de sistemas de monitoreo y evaluación del desempeño de los lazos de control se han realizado en las últimas 3 décadas [1]. El principal objetivo en este campo de investigación conocido como CMP/CPA (siglas en inglés para Control Loop Performance Monitoring/Assessment) es desarrollar procedimientos automáticos que entreguen la información necesaria para determinar los

niveles de desempeño y las características de respuesta deseada en las variables de proceso controladas. A partir de esta información, el personal de planta puede evaluar el desempeño del sistema de control [3]. Por lo general, el desempeño de los lazos de control se degrada con el tiempo. El diseño, sintonía e implementación de estrategias de control se llevan a cabo en la primera fase en la solución de problemas de automatización. Cuando se realiza correctamente, el resultado de esta fase debe ser un buen funcionamiento y buen desempeño del sistema de control. Sin embargo, después de algún tiempo de funcionamiento, aspectos como cambios en las características del material/producto utilizado, modificaciones de la estrategia de operación, cambios en el estado de los equipos de la planta (envejecimiento, desgaste, ensuciamiento, modificaciones de los componentes, entre otros.) y dificultades con los sensores y/o actuadores; pueden conducir a la degradación del rendimiento del control. De hecho, varios estudios demuestran que la vida útil promedio de una buena sintonía, es decir la duración promedio del buen desempeño en los lazo de control industrial, es de tan solo seis meses [10], [11]; tiempo a partir del cual resulta conveniente evaluar su rendimiento y tomar acciones correctivas de ser necesario. Además, la toma de decisiones de acciones correctivas es importante tener en cuenta el desempeño de los controladores y el impacto económico de los lazos de control. Tomar acciones correctivas basadas sólo en los desempeños de los controladores podría conllevar a que se reparen primero lazos de control con el peor desempeño y con bajo impacto económico, antes que lazos de control con un bajo desempeño, pero con mayor impacto económico. Del mismo modo, la priorización basada únicamente en el impacto económico tenderá a limitar el enfoque al pequeño subconjunto de controladores percibidos como económicamente importantes. La importancia de cada lazo de control en relación con los objetivos del negocio se puede establecer el impacto económico del controlador. Actualmente la valoración de dicho impacto está basada principalmente en el criterio de expertos [12]. Esta es también la causa de que la mayoría de las estrategias de CPM desarrolladas hasta ahora se enfoquen principalmente en evaluar el desempeño de los lazos de control solo considerando el desempeño de los controladores, sin tener en cuenta su impacto económico en el proceso productivo [3].

#### **Bibliografía:**

[1] T. J. Harris, "Assessment of control loop performance," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 67, no. 5, pp. 856–861, 1989. [2] M. Jelali,

"An overview of control performance assessment technology and industrial applications," *Control Eng. Pract.*, vol. 14, no. 5, pp. 441–466, 2006. [3] M. Bauer et al., "The current state of control loop performance monitoring – A survey of application in industry," *J. Process Control*, vol. 38, no. December 2015, pp. 1–10, 2016. [4] Departamento Nacional de Planeación de

Colombia, "Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018," *Dep. Nac. Planeación*, p. 861, 2019. [5] S. J. Qin, "Process data analytics in the era of big data," *AIChE J.*, vol. 60, no. 9, pp. 3092–3100, 2014. [6] A. Ismail, H. L. Truong, and W. Kastner,

"Manufacturing process data analysis pipelines: a requirements analysis and survey," *J. Big Data*, vol. 6, no. 1, pp. 1–26, 2019. [7] L. S. Dalenogare, G. B. Benitez, N. F. Ayala, and A. G. Frank, "The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 204, no. July, pp. 383–394, 2018. [8] L. Desborough, "Increasing customer value of industrial control performance monitoring-Honeywell's experience," *Prepr. CPC*, pp. 153–186, 2001. [9] L.

Desborough, R. Miller, and P. Nordh, "Regulatory control survey," *Unpubl. Manuscript, Honeywell*, vol. 88, 2000. [10] W. L.

Bialkowski, "Dreams vs reality: a view from both side of the gap," in *Control Systems' 92*. [11] M. Ruel, "Learn how to assess and improve control loop performance," *Tech. Pap.*, vol. 423, pp. 351–356, 2002. [12] L. Desborough and R. Miller,

"Increasing customer value of industrial control performance monitoring-Honeywell's experience," in *AIChE symposium series*, 2002, no. 326, pp. 169–189. [13] P. G. Eriksson, "Some aspects of control loop performance monitoring," in *IEEE*

*Conference of Control Applications, Glasgow, UK, 1994, 1994*. [14] S. Bezergianni and C. Georgakis, "Controller performance assessment based on minimum and open-loop output variance," *Control Eng. Pract.*, vol. 8, no. 7, pp. 791–797, 2000.

Acosta Vega, R., Ospino Ayala, Óscar, & Valencia Espejo, V. (2017). Diseño de un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) para una microempresa. *INGE CUC*, 13(1), 84-100. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.08>