

# **AVANCES EN LA UTILIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE EXACTITUD Y ESTABILIDAD EN LAS OPERACIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR COMO INDICADORES DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS INSTALACIONES.**

**Autores:** Marlén Morales Zamora<sup>1</sup>, Erenio González Suárez<sup>2</sup>, Julio Pedraza Gárciga<sup>2</sup>, Victor Gonzáles Morales<sup>2</sup>, William Pererira Santiago<sup>3</sup>, Lester Becerra Armas<sup>1</sup>.

**Institución:** <sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad Química-Farmacía, UCLV  
<sup>2</sup>Centro de Análisis de Procesos, Facultad Química-Farmacía, UCLV, <sup>3</sup>Empresa Azucarera Antonio Sánchez, Cienfuegos.

## **Resumen.**

En el trabajo se logra un avance en la utilización de manera novedosa de los índices de exactitud y estabilidad en las operaciones del proceso de producción de azúcar crudo como criterio para medir el comportamiento fenomenológico y el estado técnico de los equipos.

## **Palabras claves**

Índices de exactitud, índices de estabilidad.

## **Abstract**

In the work an advance is achieved in the use in novel way of the indexes of accuracy and stability in the operations of the process of production of raw sugar as approach to measure the behavior phenomenological and the technical state of the equipment.

## **Key words**

Accuracy indexes, stability indexes.

## **Introducción**

Ante el estudio de la fiabilidad de los procesos de la Industria Química, se requiere del desarrollo de nuevas formas y guías para su determinación, que tributan a pensar en la necesidad de analizar las posibilidades de utilización de nuevos criterios de calidad como los índices de exactitud y estabilidad de las operaciones y procesos tecnológicos como un indicador para medir el deterioro de los equipos, toda vez que se parte del concepto de que desde el punto de vista tecnológico, un equipo ha fallado no solo cuando está operando, sino cuando opera sin garantizar la operación para la cual ha sido diseñado.

## **Materiales y métodos.**

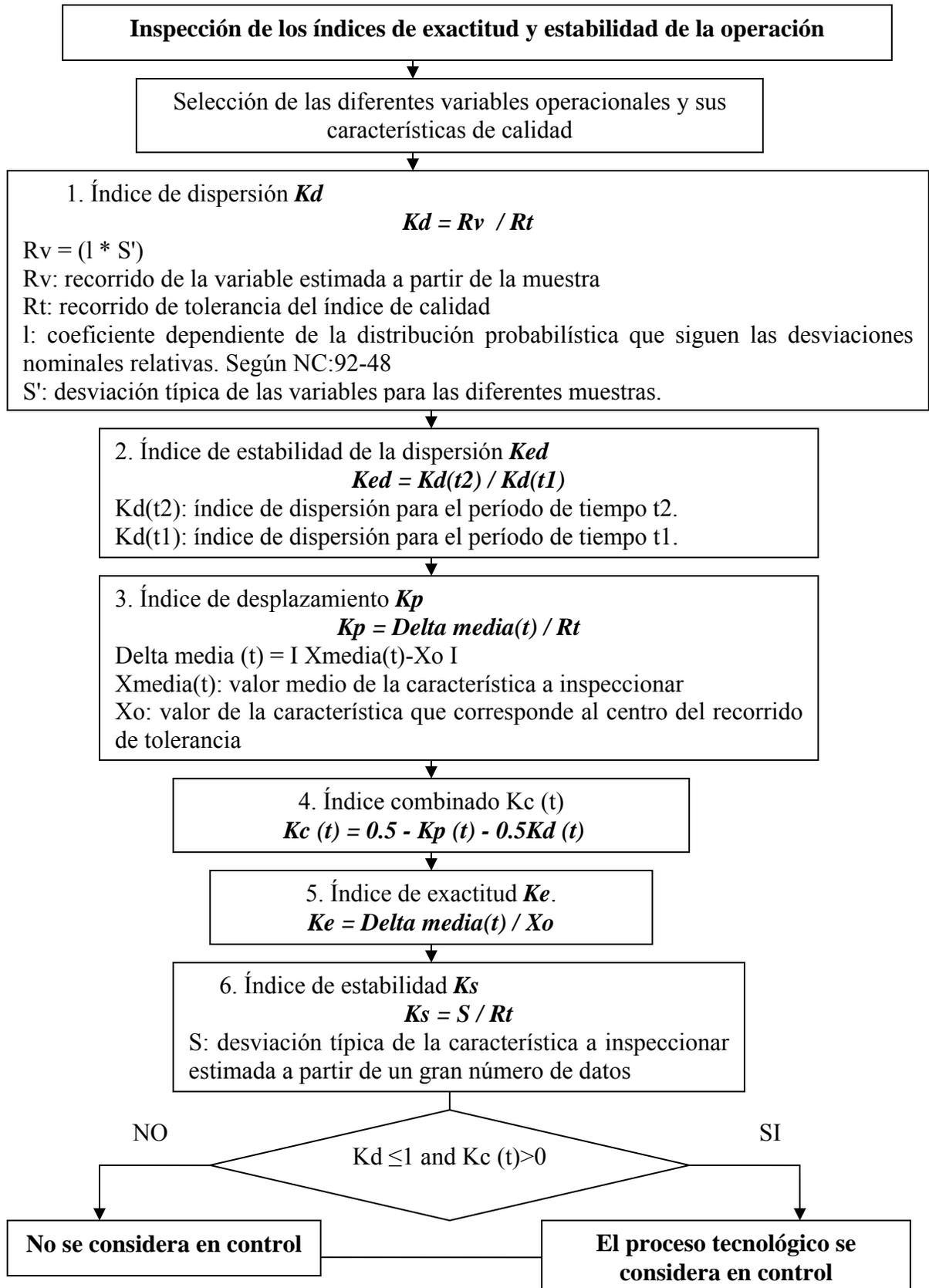
La inspección de la exactitud y estabilidad tiene como objetivos fundamentales: determinar la posibilidad de emplear una operación y/o proceso tecnológico específico, para la elaboración de un producto con determinados índices de calidad, evaluar las modificaciones de las características de la exactitud y estabilidad en el tiempo y determinar su correspondencia con los requisitos establecidos en la documentación técnico normalizativa, así como recibir información para la regulación o control de las operaciones y/o proceso tecnológicos.

A partir de los resultados que se obtengan, se determinan los factores que provocan cambios en la exactitud y estabilidad en el tiempo, los cuales pueden dar lugar a la obtención de una producción defectuosa. Por otro lado, determinan los valores reales de los diferentes índices de exactitud y estabilidad de las operaciones y/ procesos tecnológicos dependientes del estado técnico de los equipos, las materias primas y herramientas empleadas y otras peculiaridades, en un periodo de determinado. (NC: 92-48:87, NC: 92-26:88)

Para realizar la inspección de la exactitud y la estabilidad de los procesos es necesario poseer los siguientes datos: objetivos, tareas de la inspección y nomenclatura de los índices que se utilizan; tipo de producción, duración del proceso de producción y volumen de producción; calificación de los operarios y cumplimiento de la disciplina tecnológica, conjunto de documentos tecnológicos empleados; índices de calidad de la producción; índices de exactitud y estabilidad establecidos; características de exactitud y precisión de los ensayos y medios de medición a emplear; características del nivel técnico y estado de los equipos y accesorios; resultado de las inspecciones anteriores; esquema o modelo de la interrelación funcional del producto y sus componentes, así como del proceso de fabricación del mismo, señalando la influencia de ciertas características de sus componentes sobre los índices de calidad de la producción

Para la evaluación de los índices de exactitud y estabilidad de las operaciones y procesos tecnológicos se aplicó el algoritmo que se muestra en la Figura 1, el cual se programó en hojas de cálculo en el software Microsoft Excel para el procesamiento de los resultados. Estos índices de calidad han sido calculados, normalizados y se reporta su utilización para la Industria Mecánica. Para la Industria de Procesos y sobre todo la Azucarera, no han sido aplicados, es por ello que resulta novedosa su aplicación en la misma.

**Figura 1.** Algoritmo de cálculo de los índices de exactitud v estabilidad.



## Análisis de resultados.

Para la evaluación de los índices a las variables operacionales y sus características, se tomaron como base las empresas azucareras Antonio Sánchez e Ifrain Alfonso, con los datos correspondientes a la zafra 2008. Cada 10 días se realizaron mediciones a las variables, así como se obtuvieron los valores promedios de cada índice para cada variable analizada en los dos centrales. Esto permitió poder obtener la influencia y comportamiento de los índices de exactitud y estabilidad en el tiempo y establecer índices comparativos para posteriores análisis, toda vez que se deseen evaluar y analizar el comportamiento estadístico de las diferentes variables con mayor exactitud y estabilidad, para llegar a criterios de análisis del estado técnico real de los equipos del proceso.

A continuación se muestran diferentes tablas que resumen los valores promedios de los índices de exactitud y estabilidad para todas las variables analizadas y sus características en ambos centrales estudiados durante la zafra.

**Tabla 1** Resumen de los valores promedios de los índices en la etapa de extracción en la zafra.

Índices promedios	I - E.A. Antonio Sánchez				II – EA Ifrain Alfonso			
	JDM		JM		Bag			
	Brix	Pza	Brix	Pza	Red	Pol	Hdad	
<b>Kd</b>	<b>I</b>	1.443483	1.430349	1.882116	1.151261	1.266064	4.48796	1.796239
	<b>II</b>	1.388966	1.900475	1.123866	1.488384	<b>0.423261</b>	1.70495	<b>0.529164</b>
<b>Ked</b>	<b>I</b>	0.744165	0.660641	0.735715	0.747374	1.267058	0.84568	0.599327
	<b>II</b>	1.008159	1.125755	1.035652	1.214303	2.77E+13	1.034122	1.015216
<b>Kp</b>	<b>I</b>	0.69	0.2325	0.300688	0.234625	0.49325	1.2	0.652643
	<b>II</b>	0.967033	0.374533	0.132767	0.609774	0.388143	1.028929	0.037107
<b>Kc</b>	<b>I</b>	-0.91174	-0.44768	-0.74175	-0.31026	-0.62628	-2.94398	-1.05076
	<b>II</b>	-1.16152	-0.82477	-0.1947	-0.85397	-0.09978	-1.3814	0.198312
<b>Ke</b>	<b>I</b>	0.072631	0.016034	0.042955	0.01656	0.328834	0.133333	0.027194
	<b>II</b>	0.101795	0.025683	0.018967	0.043043	0.25876	0.114325	0.001546
<b>Ks</b>	<b>I</b>	0.240579	0.23839	0.313685	0.191876	0.211009	0.747994	0.299374
	<b>II</b>	0.231493	0.316746	0.18731	0.248065	0.070544	0.284159	0.088194

Según la tabla 1, en todos los casos, el índice de dispersión (Kd) es mayor que uno y el índice combinado (Kc) menor que 0, lo cual evidencia que el proceso no está en control operacional, para casi todas las características evaluadas en ambos casos, con excepción de la característica Bag\_Hdad y JM\_Red en la E.A. Ifrain Alfonso. Por otro lado, aunque existe marcada variabilidad e inestabilidad en los índices de exactitud y estabilidad en la

mayoría de las mediciones, se obtienen discretas dispersiones de muestra a muestra en algunas variables analizadas para ambos centrales.

**Tabla 2** Resumen de los valores promedios de los índices en la etapa de purificación en la zafra.

Índices promedios	I - E.A. Antonio Sánchez		II – EA Ifrain Alfonso			
	JA		JC			
	pH	Temp	Brix	Pza	pH	
<b>Kd</b>	I	4.554289	5.636459	1.254385	1.82337	2.780496
	II	4.042774	5.636459	<b>0.828906</b>	1.385991	1.761936
<b>Ked</b>	I	0.882279	1.059811	0.749883	0.889588	1.228611
	II	1.062269	1.059811	1.010326	1.542132	1.046893
<b>Kp</b>	I	0.468334	0.246667	0.078	0.112728	3.327826
	II	0.783334	0.246667	0.307119	0.250974	0.155557
<b>Kc</b>	I	-2.24548	-2.5649	-0.20519	-0.52442	-4.21807
	II	-2.30472	-2.5649	-0.22157	-0.44397	-0.53652
<b>Ke</b>	I	0.017899	0.004697	0.016139	0.007776	0.147901
	II	0.029935	0.004697	0.063542	0.017308	0.006913
<b>Ks</b>	I	0.759049	0.939411	0.209065	0.303895	0.463415
	II	0.673796	0.939411	0.138151	0.230998	0.293657

**Tabla 3** Resumen de los valores promedios de los índices en la etapa de filtración en la zafra.

Índices promedios	I - E.A. Antonio Sánchez		II – EA Ifrain Alfonso	
	JF		Cach	
	Brix	Pza	Pol	
<b>Kd</b>	I	1.281225	1.985129	9.617509
	II	1.037978	2.365068	2.418009
<b>Ked</b>	I	0.85705	0.670141	0.660383
	II	0.961415	1.5959	1.160333
<b>Kp</b>	I	0.308594	0.194591	2.564683
	II	0.496212	0.369473	0.781042
<b>Kc</b>	I	-0.44921	-0.68716	-6.87344
	II	-0.5152	-1.052	-1.49005
<b>Ke</b>	I	0.123438	0.019457	0.427447
	II	0.198485	0.036948	0.130174
<b>Ks</b>	I	0.213538	0.330856	1.602917
	II	0.172998	0.394178	0.403002

**Tabla 4** Resumen de los valores promedios de los índices en la etapa de evaporación y concentración en la zafra.

Índices promedios	I - E.A. Antonio Sánchez			II – EA Ifrain Alfonso				
	Mela		pH	MA		MB		
	Brix	Pza		Brix	Pza	Brix	Pza	
<b>Kd</b>	<b>I</b>	3.727884	1.744268	3.62892	2.045666	3.358453	5.968273	2.96716
	<b>II</b>	2.042116	1.587477	2.198916	1.157763	2.842801	1.621463	1.47458
<b>Ked</b>	<b>I</b>	0.830031	0.816386	0.628214	2.110415	1.097088	1.265536	1.171435
	<b>II</b>	1.151369	1.586205	1.065025	1.094927	1.70805	1.179629	0.989894
<b>Kp</b>	<b>I</b>	0.313114	0.228689	2.313424	5.787486	1.508708	0.987459	1.041864
	<b>II</b>	0.164092	0.247166	0.246155	0.334409	2.233976	0.14675	0.323729
<b>Kc</b>	<b>I</b>	-1.67705	-0.60082	-3.62789	-6.31032	-2.68794	-3.47159	-2.02545
	<b>II</b>	-0.68515	-0.54091	-0.84561	-0.41329	-3.15538	-0.45748	-0.56102
<b>Ke</b>	<b>I</b>	0.025049	0.015773	0.132196	0.462999	0.049466	0.02101	0.071855
	<b>II</b>	0.013128	0.017047	0.012008	0.010965	0.082234	0.003123	0.022327
<b>Ks</b>	<b>I</b>	0.621313	0.290711	0.604821	0.340945	0.559743	0.994711	0.494528
	<b>II</b>	0.340354	0.264579	0.366487	0.192961	0.473801	0.270244	0.245764

**Tabla 5** Resumen de los valores promedios de los índices en la etapa de centrifugación en la zafra.

Índices promedios	I - E.A. Antonio Sánchez			II – EA Ifrain Alfonso			
	MielA		Brix	MielB		Az	
	Brix	Pza		Pza	Pol	Hdad	
<b>Kd</b>	<b>I</b>	6.043603	6.074236	1.816941	1.190174	1.827313	8.759338
	<b>II</b>	1.635086	2.363265	1.340825	1.049864	<b>0.532544</b>	1.473331
<b>Ked</b>	<b>I</b>	0.865301	1.291018	1.567628	1.390531	0.726096	0.915318
	<b>II</b>	1.043516	1.138758	0.923115	1.084273	1.167983	0.971685
<b>Kp</b>	<b>I</b>	1.06225	0.640741	4.662869	0.570524	0.200921	1.893055
	<b>II</b>	3.124543	0.186107	4.976323	0.832896	0.116923	0.124286
<b>Kc</b>	<b>I</b>	-3.58405	-3.17786	-5.07134	-0.66561	-0.61458	-5.77272
	<b>II</b>	-3.44209	-0.86774	-5.14674	-0.85783	0.116806	-0.36095
<b>Ke</b>	<b>I</b>	0.084981	0.044189	0.37303	0.089494	0.002029	0.946528
	<b>II</b>	0.249964	0.012835	0.398107	0.130652	0.001182	0.062143
<b>Ks</b>	<b>I</b>	1.007266	1.012373	0.302823	0.198363	0.304551	1.459889
	<b>II</b>	0.272513	0.393877	0.398107	0.174978	0.088755	0.245556

De las tablas 2, 3, 4 y 5, según los resultados obtenidos de los índices de exactitud y estabilidad, para todas las variables analizadas en cada etapa del proceso, los índices de dispersión son mayores que cero, lo cual muestra que el proceso no está en control operacional, con excepción de la variable Az\_Pol para la EA Ifrain Alfonso. Si bien

ambos centrales reportan resultados negativos, los peores resultados (se alejan más) tributan a la EA. Antonio Sánchez, ya que existen diferencias significativas de los valores de las variables y sus características.

Por otro lado, el comportamiento de los índices de exactitud y estabilidad a medida que transcurre el tiempo es inestable para casi todas las variables, con mejores resultados para la característica Az\_Pol.

### **Conclusiones**

1. Con la aplicación de los índices de exactitud y estabilidad, se obtiene que no existe un buen control operacional en el proceso de producción de azúcar en los centrales azucareros, lo cual puede deberse a múltiples factores externos e internos que repercuten de manera directa e indirecta en la eficiencia del proceso.
2. Con la utilización de los índices de exactitud y estabilidad al proceso de producción de azúcar se logró obtener una influencia y un comportamiento de estos índices en el tiempo, así como, establecer índices comparativos para posteriores análisis de equipamientos que realicen la misma función.
3. Con la implementación de los índices, se puede indicar de forma indirecta la fiabilidad tecnológica del equipamiento, visto el fallo probable del equipo, no solo como la imposibilidad de operar, sino como la imposibilidad de garantizar las especificaciones del sistema.

### **Bibliografía.**

1. Rosa, E. (1996) Análisis de alternativas de inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Santa Clara.
2. Fabregat, P. Curbelo, A. Zhihiaski, I. (1981). Estado actual de la teoría de la fiabilidad y su objetivo dentro de la industria química y azucarera. Centro Azúcar. Enero–Abril.
3. Shilinski, I; Shubin, V; Fabregat, P; Calleja, A; Curbelo, A. (1981) Enfoque indeterminado como base de la investigación de la seguridad de los equipos de la producción azucarera. Centro Azúcar Enero –Abril.
4. Pequeño, M. (1985) Análisis del comportamiento de los parámetros de calidad en diferentes etapas del proceso en la planta cloro sosa. Trabajo de Diploma.
5. NC: 92-48:87 y .NC: 92-26:88 Control de la Calidad. Inspección de la exactitud y la estabilidad de las operaciones y los procesos tecnológicos.