



DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3247](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3247)

## Optimización de materia prima en la industria de capacitores

**José Luis Patiño Cuesta**

[M20261166@matamoros.tecnm.mx](mailto:M20261166@matamoros.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-2206-4606>

Egresado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria  
Maestría en Administración Industrial  
en el Instituto Tecnológico de Matamoros  
H. Matamoros – México

**Erandi Lizzete Contreras Ocegueda**

[erandi.co@matamoros.tecnm.mx](mailto:erandi.co@matamoros.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-0376-7800>

Doctorado en Ciencias Administrativas en el Instituto de Estudios Universitarios  
Docente/Doctor en Ciencias Administrativas  
en el Instituto Tecnológico de Matamoros  
H. Matamoros – México

**Rafael Posada Velázquez**

[rposadav@relayn.org](mailto:rposadav@relayn.org)

<https://orcid.org/0000-0003-0400-2399>

Doctor en Administración por la Universidad de Celaya.  
Professor - Resercher (División de Negocios)  
en Universidad Tecnológica de San Juan del Río  
Querétaro, México

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo analizar la factibilidad de reemplazar la materia prima por otra con menor costo, manteniendo la calidad del capacitor. Horacek (et al., 2016) mencionan “que la tecnología de capacitores de tantalio tiene muchas características tales como: bajo y estable resistencia en serie equivalente, alta retención de capacitancia, una baja tasa de fallas, resistencia al ambiente (humedad, temperatura) y bajo costo”. Para probar estos indicadores se realizó una prueba de hipótesis de dos muestras para verificar la calidad del producto. Se llegó a la conclusión de que la materia prima era aceptable, cumpliendo con la capacitancia, resistencia, fuga de corriente y factor de disipación 4 indicadores mejorando la calidad del producto anterior.

**Palabras clave:** *tantalio; capacitancia; resistencia en serie; fuga de corriente; factor de disipación.*

Correspondencia: [M20261166@matamoros.tecnm.mx](mailto:M20261166@matamoros.tecnm.mx)

Artículo recibido 10 agosto 2022 Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) 

Cómo citar: Patiño Cuesta, J. L., Contreras Ocegueda, E. L., & Posada Velázquez, R. (2022). Optimización de materia prima en la industria de capacitores. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 2238-2248. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3247](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3247)

## Raw material optimization in the capacitor industry

### ABSTRACT

This research aims to analyze the feasibility of replacing the raw material by another one with lower cost, while maintaining the quality of the capacitor. Horacek (et al., 2016) mention "that tantalum capacitor technology has many characteristics such as: low and stable equivalent series resistance, high capacitance retention, a low failure rate, resistance to the environment (humidity, temperature) and low cost". To test these indicators, a two-sample hypothesis test was performed to verify the quality of the product. It was concluded that the raw material was acceptable, meeting the capacitance, resistance, current leakage and dissipation factor 4 indicators improving the quality of the previous product.

**Keywords:** *tantalum; capacitance; resistance; leakage; dissipation factor.*

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Kucuker (et al., 2019) “el tantalio es un metal de transición duro, de color azul-grisáceo y muy resistente a la corrosión. El tántalo es altamente conductor del calor y la electricidad y es fácil de fabricar, además de tener un coeficiente de expansión térmica muy bajo. Estas características del tántalo dan lugar a una aplicación muy amplia. Puede utilizarse en los instrumentos de preparación de ácidos inorgánicos, y su vida útil puede ser diez veces mayor que la del acero inoxidable. En las industrias química, electrónica y eléctrica el tántalo también puede utilizarse para sustituir a algunos metales preciosos y reducir así el coste”.

Los capacitores de tantalio son componentes que se encuentran en muy diversas áreas, desde en naves espaciales, equipo médico como desfibriladores, marcapasos, en la industria automotriz y en muchos otros productos que usamos todos los días. Existe una selección más amplia de tecnologías de capacitores en la industria, incluida una gama en expansión de dispositivos electromecánicos y soluciones de compatibilidad electromagnética.

Uno de los 4 indicadores más importantes es la resistencia en serie (ESR), (Spurney et al., 2018), resalta que “a una mayor densidad del ánodo mantiene un nivel bajo de (ESR)”, esto nos ayuda a entender que podemos trabajar a partir de un nivel de densidad específico.

Freeman, (2018), menciona que “La fabricación de ánodos suele comenzar con la mezcla de polvo de tántalo con lubricante orgánico para aumentar la fluidez del polvo, mejorar la uniformidad de la densidad y la resistencia al aplastamiento en los ánodos prensados”, también afirma que la materia prima de tantalio con partículas muy finas, quiere decir partículas muy muy pequeñas, tienen a trabajarse en densidades entre 5-6 gramos por centímetro cúbico (g/cc). Esto nos indica que hace sentido con el ánodo que se está trabajando es de 5.5 g/cc.

Todas las actividades dentro de una organización tienen su relevancia, sin embargo, algunas de ellas pueden generar mayor impacto en recursos financieros, como son los materiales de construcción, por ejemplo, la materia prima con la que se fabrican los ánodos en la industria de capacitores. Por lo tanto, para las empresas que fabrican capacitores es importante la optimización de la materia prima buscando reducir costos, quejas de cliente y productos defectuosos generados en los procesos.

Como menciona Corriou (2018) la tarea de un sistema de control es garantizar la estabilidad del proceso, minimizar la influencia de las perturbaciones y el rendimiento global. Estos objetivos se consiguen manteniendo algunas variables (temperatura, presión concentración, posición, velocidad, calidad) cerca de sus valores deseados o utilizando límites de especificación que pueden ser fijos o dependientes del tiempo.

Young & Qazi (2014) mencionan que "el uso de capacitores de tantalio con sistemas de cátodos de polímero continúa experimentando un uso generalizado a lo largo de muchos segmentos de la industria dadas las muchas ventajas que ofrece este sistema de cátodo. La adopción de esta tecnología comenzó dentro del mercado de la electrónica de consumo con una rápida adopción en portátiles y computadoras de escritorio aplicaciones informáticas". Freeman & Lessner (2021) resalta que "la principal ventaja de los capacitores de tantalio de polímero sobre otros tipos de capacitores de tantalio es su baja resistencia en serie equivalente (ESR), proporcionando una mayor estabilidad de capacitancia con capacidad de frecuencia y corriente de ondulación".

De acuerdo con Qazi (2014) los "modos de falla eléctrica de los capacitores de tantalio se pueden dividir en tres grandes categorías: alta fuga de corriente y cortos, alta resistencia en serie (ESR), y CAP alto o bajo, que representa la mayoría de las fallas".

Tarekegn (et al., 2020) observan "que la presencia de humedad también provoca pérdida de capacitancia y aumento de fuga de corriente (DCL) durante pruebas a largo plazo en temperaturas elevadas".

(Freeman et al., 2017) observa que la mejora continua en los capacitores de tantalio polimérico "permiten que se usen no sólo en electrónica comercial, sino también en la electrónica especial de alta fiabilidad como la militar y la espacial. En términos de voltajes de trabajo, fugas de corriente continua y la tasa de fallos, los capacitores de tantalio polimérico son ahora comparables a los a los capacitores de tantalio húmedo, mientras que sus características como la corriente alterna, como la ESR y la estabilidad de la capacidad con la frecuencia, son mucho mejores que las de los condensadores de tantalio húmedo".

## **METODOLOGÍA**

En esta investigación el tipo de estudio fue de tipo descriptivo como Baena Paz (2017) este estudio se considera aquella en que, "se reseñan las características o rasgos de la situación o fenómeno objeto de estudio". Esta investigación es de tipo descriptiva porque

describe una situación y un proceso, lo mide y lo cuantifica para mejorarlo, logrando que la calidad del producto sea igual o mejor que el actual polvo.

Tipo de estudio experimental, de acuerdo con Quezada Lucio (2021), este estudio “es donde se actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, precisamente para conocer los efectos producidos por el investigador como técnica para probar sus hipótesis”. En esta investigación se manipularán al menos una variable para conocer los efectos con la intención de modificarlas, para esto se piensa experimentar en cada proceso crítico y así analizar los diferentes efectos que contribuyan a la calidad del ánodo y al producto terminado.

Investigación correlacional como señala (Bernal, (2016), “tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre variables y sus resultados. El principal soporte es el uso de herramientas estadísticas”. En base a lo citado, esta investigación cabe dentro de este tipo, ya que se realizará la evaluación considerando las variables que son más importantes a mostrar resultados de la relación con el nuevo polvo a implementar, apoyándonos en la estadística para poder llevar a cabo este procedimiento.

### **Población o muestra**

De acuerdo con Jay L, (2019) “la estadística proporciona métodos de organizar y resumir datos, y de obtener conclusiones basadas en la información contenida en los mismos, se centrará en una colección bien definida de objetos que constituyen una población de interés.”

La población de este proyecto pertenece a la empresa de fabricación de componentes electrónicos “capacitores de tantalio” en la ciudad de H. Matamoros, Tamaulipas, y la muestra corresponde a las líneas de producción de la planta de ánodos de los polvos.

### **Determinación de la muestra**

Se tomará una muestra de 30 lotes para realizar la evaluación de la investigación, se tomó en cuenta que, dentro de la estadística, para establecer límites de control a un nuevo producto, la cantidad mínima confiable es de 30 lotes procesados.

### **Unidades de análisis**

Los sistemas de medición que se validaron mediante pruebas eléctricas fueron: CAP (Capacitancia), DF (Factor de Disipación), ESR (Resistencia eléctrica en serie), LKG (Fuga de corriente).

***Los principales objetivos de la prueba son:***

Asegurar que los parámetros físicos y eléctricos de los ánodos cumplan con las especificaciones internas (límites) y del cliente. Tanque de formación: donde se someterá los ánodos a cierto voltaje, para formación de dieléctrico y así obtener el nivel de capacitancia y fuga de corriente deseada. Composición del electrolito con el que se llena el tanque de formación y poder formar el dieléctrico a los ánodos. Es una mezcla de agua desionizada y ácido fosfórico.

### **Procedimiento**

La temperatura del Horno de secado es de 100°C +/- 5°C y el tiempo del ciclo es de 30 minutos. Una vez sacadas las charolas del horno se colocarán en el rack metálico que se encuentran en la estación de pruebas eléctricas. Espere a que se enfríe el material, para poder empezar a realizar las pruebas eléctricas. Para realizar la prueba se tuvo que verificar que la solución del equipo de prueba estuviera a la altura de los hombros del ánodo, en caso contrario, las lecturas no serían confiables.

### **Pruebas físicas**

Las pruebas físicas forman parte de los requisitos específicos del cliente, las pruebas que se realizan son: “prueba de resistencia del alambre”, “lecturas de las dimensiones del ánodo, largo, ancho, altura” y “pesos del ánodo”. Los instrumentos de medición utilizados para estas pruebas son: micrómetro, microscopio y balanza analítica.

### **Tratamiento estadístico**

Para comprobar estadísticamente los resultados de la investigación, se utilizaron 2 métodos estadísticos, los cuales son, comparación de dos varianzas poblacionales (distribución f) para el paramétrico de capacitancia y la prueba de diferencia de medias para los paramétricos de resistencia, fuga de corriente y factor de disipación.

### **Distribución f**

La distribución de probabilidad que se emplea en este artículo es la distribución F, como mencionan Lind (et al., 2015), “sirve como la distribución del estadístico de prueba en varias situaciones; con ella se pone a prueba si dos muestras provienen de poblaciones que tienen varianzas iguales, y también se aplica cuando se desea comparar varias medias poblacionales en forma simultánea”.

El valor nominal de capacitancia del producto estudiado denominado 476 es de 47  $\mu F$ , tanto como el polvo B y el polvo A deben tener una distribución normal alrededor de la

media que es  $47 \mu F$ , en base a esto, se aplicó la distribución F para comprobar estadísticamente si la  $\sigma_B^2$ , es igual o diferente a  $\sigma_A^2$ .

A continuación, se realiza la prueba de hipótesis.

Se formuló la hipótesis nula y alternativa. La prueba es de dos colas debido a que busca una diferencia entre las varianzas. La hipótesis nula es que la varianza de  $\sigma_B^2$  es igual a la varianza de  $\sigma_A^2$ . La hipótesis alternativa es ambas varianzas son diferentes.

$$H_0: \sigma_B^2 = \sigma_A^2$$

$$H_1: \sigma_B^2 \neq \sigma_A^2$$

Se seleccionó el nivel de significancia 0.05, posteriormente se determinó el estadístico de prueba, en este caso se eligió la distribución F. Posteriormente se obtuvo el valor crítico mediante el programa Minitab, el cual fue el siguiente:

$$F_{29,49,0.025} = 1.74 = \frac{1}{F_{49,29,0.025}} = \frac{1}{1.79} = 0.55$$

Por último, se aplicó la fórmula, donde se obtuvo el siguiente resultado:

$$F = \frac{S_B^2}{S_A^2} = \frac{(1.7458)^2}{(1.0644)^2} = \frac{3.05}{1.13} = 2.6903$$

Dado que el valor F calculado (2.6903) es mayor que el valor crítico (1.74) se concluye que hay una diferencia entre las variaciones del polvo B vs polvo A. Por lo que se rechaza la hipótesis nula, sin embargo, no hay diferencia significativa entre las varianzas.

Prueba de hipótesis para dos muestras, para los paramétricos (factor de disipación, resistencia y fuga de corriente).

Lind (et al., 2015) afirma que para las “pruebas de hipótesis para dos muestras, se seleccionan muestras aleatorias de dos poblaciones distintas para determinar si las medias son iguales”. Las dos distribuciones muestrales de la media teóricas están construidas a partir de todas las muestras posibles de un tamaño dado que pueden obtenerse de la distribución de la población correspondiente.

Para empezar, realizamos la prueba de normalidad para el indicador de factor de disipación, para comprobar que la población es normal.

El valor P es 0.391 y 0.585 respectivamente, que son mayor a 0.05. Por lo tanto, podemos concluir que nuestros datos siguen una distribución normal. Para los siguientes parámetros utilizaremos la prueba de hipótesis para dos muestras.

Una vez que sabemos que los datos siguen una distribución normal, que las muestras son independientes y conocemos las desviaciones estándar, procedemos a emplear la fórmula, mediante la prueba de hipótesis en cinco pasos.

Si  $\mu_B$  se refiere a la media de factor de disipación actual de la materia prima actual y  $\mu_A$  a la media de factor de disipación de la materia prima anterior, las hipótesis nula y alternativa son:  $H_0: \mu_B \geq \mu_A$ ;  $H_1: \mu_B < \mu_A$ .

Siendo el nivel de significancia 0.05.

Determinar el estadístico de prueba, En este caso se usa la distribución z como el estadístico de prueba debido a que las desviaciones estándares de las dos poblaciones se conocen.

Para este paso, tenemos los datos de las medias y desviaciones estándar de los 2 polvos involucrados, donde se conocen los valores.

Tabla factor de disipación			
Tipo de polvo	Media muestral	Desviación estándar de la población	Tamaño de la muestral
Polvo B	2.0139	0.2290	30
Polvo A	2.688	0.4408	50

Media y desviación estándar para factor de disipación.

Sustituimos:

$$Z = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{2.014 - 2.688}{\sqrt{\frac{0.2290^2}{30} + \frac{0.4408^2}{50}}} = -8.98$$

Decisión. El valor de prueba es menor al valor crítico,  $-8.98 < -1.65$ , la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza con nivel de significancia de 0.0

Por lo tanto, la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$ , ya que el valor de prueba cae en el área de rechazo del valor crítico.

La media de factor de disipación de la materia prima actual es menor a la anterior, quiere decir que la actual tiene mejor rendimiento en este indicador.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de resultados del costo contra el producto actual.

POLVO	\$/lb	Peso (gr)	Peso (lb)	Piezas	% aceptación	% de pérdidas	\$/ 1000 piezas	\$ Pérdido x cada 1000 piezas	\$ Pérdido x cada 1000 piezas	Pzs por mes	\$ Producción por mes
A	144	0.1407	0.00031	1000	91%	9%	44.57	4.15	48.12	850,000	41,415
B	176	0.0741	0.000163	1000	92%	8%	28.69	2.38	31.08	850,000	26,414

En la primera columna de la tabla se muestran los polvos evaluados; en la segunda columna se observa el costo por libra de cada uno; de ellos en la tercer y cuarta columnas se muestran el peso en gramos y en libras de cada polvo para producir 1000 piezas; en las siguientes columnas se muestran los beneficios del cambio de materia prima: incrementó la aceptación eléctrica 1%, se redujeron las pérdidas eléctricas 1%, y se ahorró un total de \$15,001 dólares por mes.

### **Discusión**

La nueva materia prima, cumple con los requisitos de todas las pruebas eléctricas y de calidad realizadas; por lo cual, se utilizará para la fabricación de capacitores reemplazando la materia prima anterior, con esto también se obtendrá una reducción de costos. Los beneficios resultantes del cambio ayudan a la compañía a reducir los inventarios de materia prima por la disminución de uso de polvo al reducir el tamaño del ánodo, obteniéndose también cero rechazos en pruebas de calidad.

La materia prima propuesta se implementó ya que el comportamiento eléctrico y físico es el más parecido basándonos en los datos reflejados por las gráficas y el de menor costo además de contar con todos los beneficios citados anteriormente.

### **CONCLUSIONES**

Se puede concluir que con esta investigación se puede lograr ahorros significativos, manteniendo el nivel de calidad del capacitor con el solo hecho de cambiar de proveedor de materia prima, primeramente, evaluando su desempeño en las variables críticas a través del proceso.

Este tipo de investigaciones han hecho que la industria de capacitores evolucione rápidamente, ofreciendo productos de calidad a menor costo, con un amplio catálogo de productos para sus clientes, y así manteniéndose competitivos dentro del mercado.

### **LISTA DE REFERENCIAS**

- Baena Paz, Guillermina. (2017). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la Investigación: Vol. 4th Edition* (4th ed.). PEARSON.
- Corriou, J.-P. (2018). *Process Control* (2nd ed.). Springer.
- Freeman, Y. (2018). *Tantalum and Niobium-Based Capacitors* (1st ed.). Springer.
- Freeman, Y., & Lessner, P. (2021). Evolution of polymer tantalum capacitors. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125514>

- Freeman, Y., Luzinov, I., Burtovyy, R., Lessner, P., Harrell, W. R., Chinnam, S., & Qazi, J. (2017). Capacitance Stability in Polymer Tantalum Capacitors with PEDOT Counter Electrodes. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 6(7), N104–N110. <https://doi.org/10.1149/2.0031708jss>
- Horacek, I., Zednicek, T., Komarek, M., Tomasko, J., Zednicek, S., Millman, W. A., Sikula, J., & Hlavka, J. (2016). *Improved ESR on MnO<sub>2</sub> Tantalum Capacitors at Wide Voltage Range*.
- Jay L. (2019). *FUNDAMENTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA* (1st ed.). Cengage Editores.
- Kucuker, M. A., Xu, X., & Kuchta, K. (2019). Extraction Potential of Tantalum from Spent Capacitors Through Bioleaching. In *Cascade Use in Technologies 2018* (pp. 45–50). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-57886-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-57886-5_7)
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2015). *ESTADÍSTICA APLICADA A LOS NEGOCIOS y la ECONOMÍA*.
- Qazi, J. (2014). Tantalum Capacitor FA: An Overview of Failure Analysis of Tantalum Capacitors. In *Electronic Device Failure Analysis EDFAAO* (Vol. 2).
- Quezada Lucio, Nel. (2021). *Metodología de la investigación : estadística aplicada en la investigación* (1st ed.). Macro.
- Spurney, R. G., Sharma, H., Pulugurtha, M. R., Tummala, R., Lollis, N., Weaver, M., Gandhi, S., Romig, M., & Brumm, H. (2018). Ultra-High Density, Thin-Film Tantalum Capacitors with Improved Frequency Characteristics for MHz Switching Power Converters. *Journal of Electronic Materials*, 47(9), 5632–5639. <https://doi.org/10.1007/s11664-018-6466-4>
- Tarekegn, E. N., Harrell, W. R., Luzinov, I., Lessner, P., & Freeman, Y. (2020). Environmental Stability of Polymer Tantalum Capacitors. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(8), 083005. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/abba02>
- Young, J., & Qazi, J. (2014). *Polymer Tantalum Capacitors for Automotive Applications*.