

## DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN EQUIPO DE GALVANOPLASTIA BASADO EN INSTRUMENTACION VIRTUAL, UTILIZANDO TRES TECNICAS (DC, PC, ICP) DE DEPOSICIÓN

### RESUMEN

Este trabajo muestra el desarrollo de un equipo versátil, para realizar procesos de galvanoplastia por diferentes métodos (corriente directa, corriente pulsante, corriente pulsante inversa). El equipo se basa en instrumentación virtual. Esto hace que el equipo sea muy sencillo, pues todo el control del mismo es fácilmente configurable a través de paneles virtuales. Consta de un rectificador para manejo hasta de 30 Amperios, el cual es controlado por una tarjeta AD/DA. Este equipo se diseño para que proporcione una corriente pulsante capaz de soportar rangos hasta de 30 amperios, voltaje de 30 voltios pico y tiempos del orden de los milisegundos. El software se desarrollo con labview 7.0, el cual permite controlar y monitorear el tiempo catódico, tiempo anódico, voltaje catódico, voltaje anódico, número de ciclos, periodo de muestreo, tiempo de electro deposición y carga consumida. Lo cual permite determinar la carga de deposición en función de la corriente y en periodos de tiempo seleccionado por el usuario. Este equipo fue evaluado para hacer depósitos de baños de Cu/Ni, los cuales fueron evaluados en función de la corrosión.

**PALABRAS CLAVES:** Instrumentación Virtual, galvanoplastia, corrosión, hardware,

### ABSTRACT

*This work shows the development of a versatile equipment to carry out processes of galvanoplasty for methods different (direct current, pulse direct current, inverse pulse current). The equipment is based on virtual instrumentation. This makes that the equipment can be simple, because its control is easily configuration through virtual panels. It has a mostly rectify for handling until of 30 Amperes, which is controlled by a card AD/DA. This equipment was design for providing an pulse current ablest to support ranges until of 30 amperes, voltage of 30 volts pick and pick and times starting from the second thousand. The software you development with labview 7.0, which allows to control and measure the cathodic time, time anodic, cathodic voltage, anodic voltage, number of cycles, period of sampling, time of electrodeposition and it loads consumed. That which allows determining the deposition load in function of the current, in periods of time selected by the user. This equipment was evaluated to make deposits of bath of Cu/Ni, which were evaluated in function of the corrosion.*

**KEYWORDS:** Virtual instrumentation, galvanoplasty, corrosion.

### 1. INTRODUCCIÓN

La electrodeposición de metales es un proceso que busca alterar las características superficiales de un material, por lo cual ha sido ampliamente empleado para proteger diferentes tipos de piezas de agentes corrosivos, para mejorar su resistencia al desgaste y para obtener superficies metálicas con acabados superficiales específicos [1]. Dentro de la gama de electrorecubrimientos existentes, el níquel se constituye en uno de los más ampliamente utilizados para recubrir aceros, aleaciones de cobre y aleaciones de zinc, debido a su excelente protección contra la corrosión y a las buenas características superficiales que presenta. Los procesos industriales siempre se encuentran a la vanguardia de los avances tecnológicos que les permitan

obtener notorios mejoramientos en todas sus líneas de producción, lo que ha motivado a diversos investigadores a estudiar los efectos de las diferentes formas de suministrar la corriente directa (DC) sobre la resistencia a la corrosión de los recubrimientos de níquel, empleando alternativas como la corriente pulsante directa (PDC) y la corriente pulsante inversa (PRC). Con estas técnicas se puede conseguir un refinamiento en el tamaño de grano de los cristales formados [2,3]. Los recubrimientos nanocristalinos de zinc obtenidos con corriente pulsante han presentado una mayor resistencia a la corrosión que el acero electrogalvanizado con corriente directa [3]. Un efecto similar se ha encontrado en los depósitos de níquel nanocristalino obtenidos con corriente pulsante, donde se han reportado velocidades de corrosión más bajas a menores tamaños de grano presentes en el depósito [4].

### WILLIAM APERADOR

Físico, Ms.C  
Profesor Escuela de Física  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia - Tunja  
wiapch@yahoo.es

### ENRIQUE VERA

Físico, Ph.D.  
Director de Investigaciones  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
kikincorr@hotmail.com

### ORLANDO FERNANDEZ

Ingeniero Electrónico.  
Joven Investigador.  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia.  
orlandofe@gmail.com

Este trabajo presenta el desarrollo de un equipo para aplicaciones en la galvanoplastia basado en instrumentación virtual, que permite de manera práctica generar cualquier tipo de onda, y además calcular los parámetros de deposición. Se obtuvieron películas delgadas de cobre-níquel depositadas sobre sustratos de zamak. Estas películas se obtienen actualmente empleando la técnica de corriente directa, sin embargo, esta técnica presenta una serie de dificultades relacionadas con la formación de la película y con su comportamiento frente al fenómeno de corrosión en medios ácidos y de cloruros.[5],[6]. Esto ha motivado al diseño de un equipo que permita realizar procesos de galvanoplastia por otras técnicas diferentes tales como corriente pulsante directa (PDC) y corriente pulsante inversa (PRC).[7],[8],[9].

## 2. TRABAJO EXPERIMENTAL

### 2.1 Desarrollo Experimental

Para la obtención de los electrodepositos de Cu se empleó un electrolito alcalino (pH=11) compuesto de NaCN (56 g/L), CuCN (42g/L), KNaC<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>\*4H<sub>2</sub>O (45 g/L), abrillantante (12cm<sup>3</sup>/L), la temperatura de trabajo fue de 35°C y el tiempo de proceso fue de 40 minutos.

Los electrodepositos de níquel se obtuvieron empleando: un electrolito (pH = 4.2) compuesto de NiSO<sub>4</sub>\*6H<sub>2</sub>O (300g/l), NiCl<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O (75 g/l), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (50 g/l), Base (40 cm<sup>3</sup>/l), Abrillantante (2.5 cm<sup>3</sup>/ l), Antiporo (7 cm<sup>3</sup>/l), la temperatura de trabajo fue de 65°C y el tiempo de electrodeposición fue de 75 minutos.

Los ensayos de electrodeposición con corriente directa y corriente pulsante inversa se realizaron de manera dinámica, se utilizó una celda con capacidad de 16 litros y un tambor con capacidad de carga de 300g. Se emplearon como cátodos discos de zamak y ánodos consumibles en cada uno de los procesos. Antes del proceso de cobrizado, los cátodos fueron sometidos a un proceso de limpieza con ultrasonido, seguido de un desengrase electrolítico y un decapado en ácido sulfúrico al 5% en volumen. Para la electrodeposición del níquel se emplearon los sustratos recubiertos con cobre. Luego de cada proceso los cátodos fueron secados y pesados para conocer la masa depositada en cada caso.

	Voltaje On (V)	Voltaje Off (V)	Tiempo On (ms)	Tiempo Off (ms)
Técnica DC	10	10	100	100
	8	8	100	100
Técnica PRC	10	-2	100	10
	10	-4	100	10
	10	-2	100	40
	10	-4	100	40
	8	-2	100	10
	8	-4	100	10
	8	-2	100	40
	8	-4	100	40

Tabla 1. Parámetros utilizados para la obtención de películas delgadas.

La caracterización electroquímica se llevó a cabo aplicando Diagramas de TAFEL. Las pruebas se realizaron en una celda compuesta por tres electrodos, un electrodo de trabajo (probetas electrodepositadas de Cobre/Níquel) con un área expuesta de 1 cm<sup>2</sup>, un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un electrodo auxiliar de alambre de platino, y se empleó una solución de HCl al 1% de pH = 5.6 y preparada con agua destilada. Los diagramas de tafel se realizaron en el rango de -0.25 mV a 1000 mV a una velocidad de barrido de 0.5 mV/s y un periodo de muestreo de 0.2s.

### 2.2 Descripción del Equipo de Galvanoplastia

El equipo diseñado para la obtención de recubrimientos multicapas se desarrolló en varias fases. La primera de ellas se procedió a diseñar y construir una fuente de alimentación que proporcione un voltaje en DC de 30V y una corriente máxima de carga de 30A durante un periodo indefinido de tiempo; Para esto primero se fabricó un transformador reductor que permitió tener aislamiento de la red y obtener un voltaje de 30V AC, además, de controlar una corriente de 30A en el secundario; en la etapa de potencia se empleó un puente rectificador para convertir AC en DC; este puente rectificador estableció un camino por el que los pulsos siempre pasan en el mismo sentido por la resistencia de carga. Aún así, ésta tensión no es suficientemente continua y se mejoró empleando condensadores de 22000µF; posteriormente, se utilizaron dos transistores de potencia uno PNP, el cual maneja la parte negativa del voltaje necesario y otro NPN, el cual maneja la parte positiva del voltaje necesaria; por ultimo se desarrolló la etapa de control que permitió tener comunicación entre la fuente y el software.



Figura 1. Equipo desarrollado para la obtención de electrorecubrimientos.

En la figura 1, se muestra el montaje general del equipo desarrollado para la obtención de electrorecubrimientos; en la figura 2, el esquema electrónico de la misma fuente.

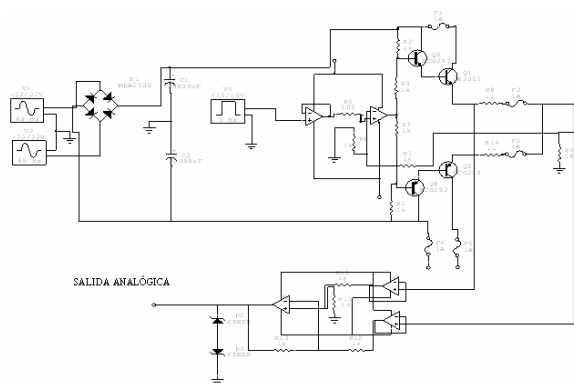


Figura 2. Esquema electrónico de la fuente.

En la segunda fase se desarrollo el software con Labview 7.1; Los valores del panel central se estableció como:

VOLTAJE A. Voltaje catódico, se da en Voltios.

VOLTAJE B. Voltaje anódico, se da en Voltios.

TIEMPO A. Corresponde al tiempo catódico, se da en milisegundos.

TIEMPO B. Corresponde al tiempo anódico, se da en milisegundos, para la técnica DC los tiempos A y B son los mismos. Para las técnicas PDC y PRC el tiempo A siempre es mayor que el tiempo B.

TIEMPO DE RECUBRIMIENTO. Depende de los protocolos establecidos, este tiempo se da en minutos.

NÚMERO DE CICLOS. Es la relación entre el tiempo A, B y el tiempo de recubrimiento el equipo hace el cálculo internamente y automáticamente da el valor de cuántos ciclos son los necesarios para la deposición.

CICLO ACTUAL. Corresponde al monitoreo del ciclo que lleva momento después de haber empezado el proceso.

PERIODO DE MUESTREO. Es aquel en el cual el software toma datos y los almacena en un archivo, esto para estudios posteriores.

TIEMPO TRANSCURRIDO. Es el que nos indica cuánto tiempo lleva el proceso y así saber cuánto falta para finalizar la prueba, este tiempo se da en segundos.

CARGA. Indica la carga que se está consumiendo en el instante, y para hallarla, el software realiza el cálculo internamente de la corriente por el tiempo.

Los parámetros de control se muestran en el software tal y como se observa en la figura 3.

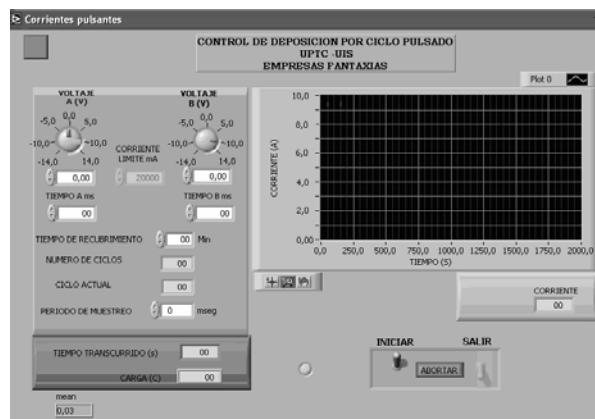


Figura 3. Esquema del software desarrollado para la obtención de las electrodeposiciones con las técnicas DC, PDC, PRC.

### 2.2 Resultados y Discusión

En las figuras 4, 5, 6 se observa los pulsos obtenidos en cada técnica,

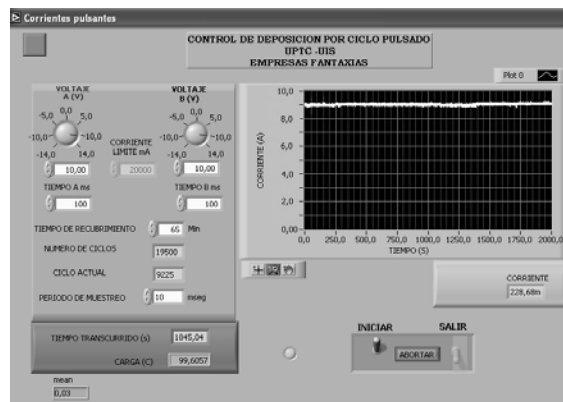


Figura 4. Pulso obtenido con la técnica DC

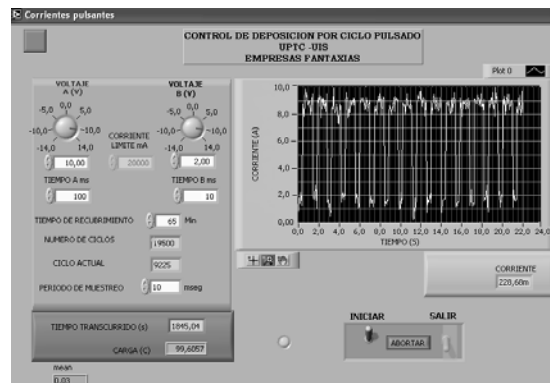


Figura 5. Pulso obtenido con la técnica PDC

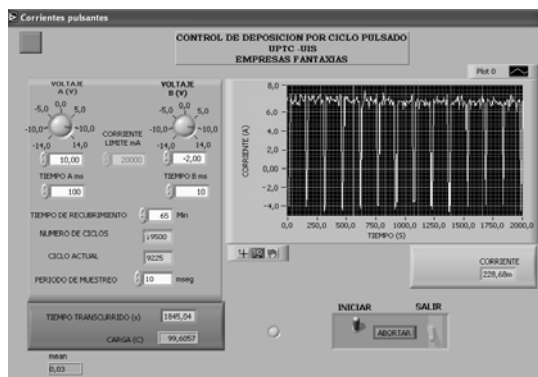


Figura 6. Pulso obtenido con la técnica PRC

De estas figuras se puede observar que lo que reproduce es una respuesta de corriente similar a la señal de voltaje colocada antes de iniciar el proceso.

### 2.3. Diagramas de Tafel

En la Figura 7 se muestran las curvas de polarización correspondientes a las películas de níquel obtenidas con la técnica DC.

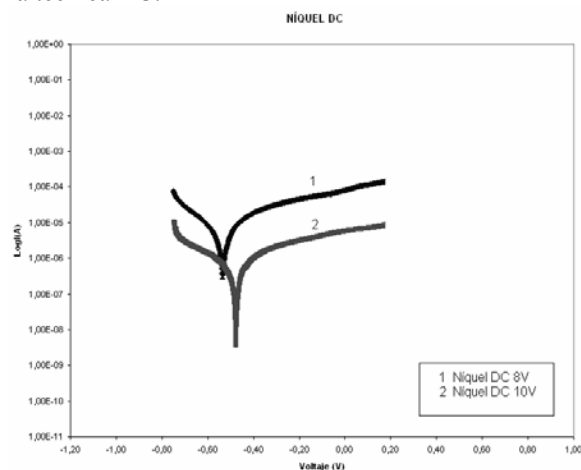


Figura 7. Curvas de polarización de níquel obtenidas con DC en HCl al 1% a una velocidad de barrido de 0.5 mV/s

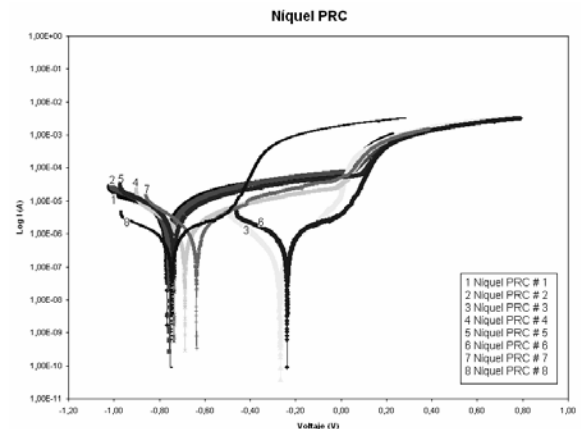


Figura 8. Curvas de polarización de níquel obtenidas con PRC en HCl al 1% a una velocidad de barrido de 0.5 mV/s

Con base en las curvas obtenidas se pueden calcular los valores experimentales de las pendientes de Tafel anódica ( $\beta_a$ ) y catódica ( $\beta_c$ ) y los valores de corriente y de velocidad de corrosión, los cuales se resumen en la Tabla 2.

Parámetro	Niquel DC 1	Niquel DC 2	Niquel PRC 1	Niquel PRC 2	Niquel PRC 3	Niquel PRC 4
Beta A (V/Década)	2.383	891.1e-3	279.6e-3	257.4e-3	68.20e-3	78.92e-3
Beta C (V/Década)	11.04	890.9 e-3	239.1 e-3	246.6e-3	73.00e-3	86.56e-3
Icorr	40.70 $\mu$ A	15.90 $\mu$ A	7.080 $\mu$ A	6.100 $\mu$ A	68.70nA	78.36nA
Ecorr (mV)	-738	-778	-786	-659	-240	-690
Velocidad de Corrosión mpy	<b>32.50</b>	<b>12.69</b>	<b>5.653</b>	<b>4.873</b>	<b>54.86 e-3</b>	<b>97.02e-3</b>
			Niquel PRC 5	Niquel PRC 6	Niquel PRC 7	Niquel PRC 8
			168.5e-3	63.20e-3	274.9e-3	365e-3
			186.2 e-3	82.60 e-3	277.1 e-3	364.3 e-3
			2.640 $\mu$ A	217 nA	1.580 $\mu$ A	4.65 $\mu$ A
			-756	-220	-620	-772
			<b>2.108</b>	<b>173.2e-3</b>	<b>1.23</b>	<b>2.29</b>

Tabla 2. Valores de corriente y velocidad de corrosión

Los parámetros encontrados con ayuda de las curvas de polarización permiten hacer uso de la ecuación de Stern – Geary para hallar las densidades de corriente de corrosión,

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 R_p (\beta_a + \beta_c)}$$

donde  $i_{corr}$  es la densidad de corriente de corrosión,  $\beta_a$  y  $\beta_c$  son las pendientes de Tafel anódica y catódica, respectivamente y  $R_p$  es la resistencia a la polarización. Se determinó que la velocidad de corrosión más alta se hallaba en los electrodepositos obtenidos con corriente directa a un voltaje de 10 V, encontrándose un valor de 32.50 mpy. Con la técnica de corriente pulsante inversa no se notó una influencia marcada del voltaje anódico en el grado de deterioro del depósito, sin embargo, el aumento del tiempo de pulso anódico genera un depósito con un mayor grado de compactación y con una mejor respuesta frente al ataque corrosivo estudiado, encontrándose valores de velocidades de corrosión muy reducidos (0.055 mpy y 0.097 mpy) en comparación con la otra técnica evaluada.

### 3. CONCLUSIONES

Del presente trabajo se puede concluir que:

Se desarrolló un equipo para realizar electrodeposiciones con las técnicas de corriente directa y corriente pulsante inversa, el cual permite realizar la variación de los diferentes parámetros de pulso.

La sencilla configuración del equipo permite manejar muy fácil los parámetros, los cuales son diferentes dependiendo de la técnica utilizada.

El equipo esta programado para que guarde los datos de corrientes, voltajes y tiempos en instantes de 10 milisegundos, para realizar posteriormente un análisis riguroso de datos.

De los análisis de diagramas de tafel, se pudo observar principalmente, que los recubrimientos obtenidos por la técnica normal DC, son porosos, pues es observable una velocidad de corrosión alta debido a que evidencia, ya sea la reacción del Cobre o del Zamak. Finalmente se observa, que los recubrimientos obtenidos por la técnica PRC son los que mejor sellado tienen, pues sus diagramas nos dan un potencial de corrosión más positivo, es decir se observa sólo el comportamiento del Níquel ante el medio agresivo. Además se pudo encontrar, que arrojó los valores más altos de  $R_p$ , lo cual concuerda con la excelente protección que brinda frente a fenómenos corrosivos en el medio evaluado.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. KENNEETH GRAHAM., electroplating engineering handbook, 2 ed. New York, reinhold publishing 1967.

[2] Feldstein. N. "Composite Electroless Plating". Journal of Electrochemical, v39, n.2, pp.62-67 (1994).

[3] Glenn O. Mallory. "The Fundamental Aspects Of Electroless Nickel Plating". Journal of Electrochemical v 45, pp. 136-139. (1997).

[4] N. V. Mandich, "Pulse and pulse - reverse electroplating", New York HBM Engineering Co. 1998.

[5] Jelena. B.B. "Electrochemical deposition and characterization of zinc - nickel alloys by direct and pulse current". Journal of university of Belgrade, v 2, n1. pp 32-39. 2002.

[6] C. Bergenstorf Nielsen, A. Horsewell "On texture formation of nickel electrodeposits" Journal of Electrochemical v 45, pp. 839-845. (2003).

[7] Roger Mouton, "Electroplating Thickness Variation - Fact and Fiction" EIMC, Laguna Niguel, CA. pp 93-124. 2005

[8] Roger Mouton "Virtual Plating: Emerging Technology Unravels the Mysteries of Electrodeposition" EIMC, Laguna Niguel, CA. pp 198-215. 2005

[9] S. Khorasani, A. Motieifar, B. Rashidian "Optimal pulse shapes for periodic reverse electroplating" Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Vol. 27, No. B4