

**CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO DE ANODIZADO Y LA
INFLUENCIA DE LA FORMACIÓN DE ALÚMINA EN EL CONSUMO
ENERGÉTICO.**

DANIEL FELIPE AYALA MEJIA

MAURO ANDRES VILLOTA QUESADA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

2020

**CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO DE ANODIZADO Y LA
INFLUENCIA DE LA FORMACIÓN DE ALÚMINA EN EL CONSUMO
ENERGÉTICO.**

DANIEL FELIPE AYALA MEJIA

MAURO ANDRES VILLOTA QUESADA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingenieros
en energía**

DIRECTOR. MSc. LUIS EDUARDO JAIMES REATIGA

CODIRECTOR. Ph. D. YECID ALFONSO MUÑOZ MALDONADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

2020

Notas de Aceptación.

MSc. Luis Eduardo Jaimes Reatiga

Director

Evaluador

Bucaramanga, 14 de Agosto de 2020

DEDICATORIA

Daniel.

A Dios principalmente quien me bendice cada día de mi vida, a mi madre Zonia quien siempre ha sido un apoyo y motivación en este camino recorrido y quien me impulsa a nunca rendirme, a mi padre Isaac por brindarme su apoyo, a mi hermana Mónica la cual es un gran apoyo en mi vida. A mi familia, mi novia, mis amigos, y mis compañeros que han estado a mi lado en este camino recorrido y han aportado para cumplir mis metas.

Mauro.

Dedico este logro a Dios por guiarme en el camino de la vida. A mis abuelos Zoraida Monsalve y Hector Quesada por su apoyo incondicional y amor a lo largo de mi vida. A mis padres Adriana Quesada y Mauro Villota por educarme con rectitud y buenos valores, enseñándome que la educación es la mejor herencia que se le puede dejar a los hijos. A mi hermano Sergio Villota, por estar pendiente de mi progreso como futuro profesional. A mis tíos que de alguna u otra manera estuvieron pendientes de mi progreso en la carrera universitaria, a mi novia que con su cariño y apoyo me motivaba a seguir siempre adelante. Y por último a toda mi familia base fundamental en mi desarrollo como persona.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por brindarnos las herramientas necesarias para la realización del proyecto.

Al profesor MSc. Luis Eduardo Jaimes Reatiga, docente del programa ingeniería en energía por acogernos como sus pupilos guiándonos y acompañándonos en el transcurso del proyecto.

Al profesor Ph.D. Yecid Alfonso Muñoz Maldonado, docente del programa ingeniería en energía por su asesoría en el proyecto la cual fue fundamental para la culminación del mismo.

A la empresa Electroquímica Recubrimientos, en especial a su gerente Ariel Hurtado Leon por brindarnos la confianza y permitirnos realizar la toma de datos necesarias para el desarrollo del proyecto.

A los profesores del programa ingeniería en energía por apórtanos sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A nuestros amigos y compañeros, que aportaron de alguna manera a la culminación de esta etapa tan importante en nuestra vida.

Al expresidente Juan Manual Santos, por implementar el programa Ser Pilo Paga el cual dio la oportunidad a muchos estudiantes incluyéndonos de poder cumplir una gran meta en nuestra vida

CONTENIDO

1. MARCO REFERENCIAL	26
1.1. MARCO CONCEPTUAL	26
1.1.1. Anodizado	26
1.1.2. Caracterización energética	30
1.1.3. Análisis de experimentos	31
1.1.4. Sistema de energía alternativa	45
1.2. ESTADO DEL ARTE	46
2. OBJETIVO GENERAL.....	48
2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	48
3. METODOLOGIA	49
4. DESARROLLO	51
4.1. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y DEL PROCESO DE ANODIZADO	51
4.1.1. Proceso de anodizado en la empresa <i>Electroquímica Recubrimientos</i>	51
4.1.2. Caracterización energética del proceso de anodizado	55
4.2. ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS	74
4.2.1. Análisis factorial 2 ³ del proceso de anodizado.....	74
4.2.2. Experimentación a partir de datos industriales de la empresa <i>Electroquímica Recubrimientos</i>	93
4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIA ALTERNATIVO.....	98
4.3.1. Potencial Solar de la instalación.....	99
4.3.2. Sistema GRID TIED	102
4.3.3. Sistema Aislado con baterías	105
4.3.4. Sistema Solar Hibrido.	114
4.3.5. Análisis de los 3 sistemas fotovoltaicos planteados.	117
4.3.6. Sistema seleccionado.	120
4.3.7. Análisis financiero de la implementación del sistema seleccionado.	122
5. CONCLUSIONES	126
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	128
7. BIBLIOGRAFIA.....	129

9. ANEXOS 133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de caracterización de la capa anódica.....	29
Tabla 2. Esquema de un análisis factorial.	37
Tabla 3. Posibles fuentes de variación de unos experimentos.	37
Tabla 4. Estado del arte.	46
Tabla 5. Variables del proceso de anodizado de aluminio utilizados en la empresa Electroquímica Recubrimientos.	53
Tabla 6. Primera medición de potencia consumida de la red.....	57
Tabla 7. Medición de consumo de energía térmica en el subproceso de sellado.	61
Tabla 8. Datos de producción y energía de la empresa Electroquímica Recubrimientos.....	62
Tabla 9. Tabla de coeficientes regresión energía vs producción.	63
Tabla 10. Fuentes de variación con sus niveles.	74
Tabla 11. Diseño factorial 2^3	74
Tabla 12. Diseño factorial con resultados y evidencias.	83
Tabla 13. Corriente de trabajo establecida para la prueba de laboratorio.....	94
Tabla 14. Pruebas de anodizado a diferente tiempo de proceso.	95
Tabla 15. Irradiancia promedio y horas pico promedio.	100
Tabla 16. Numero de paneles sistema GRID TIED.	104
Tabla 17. Inversor sistema GRID TIED.	104
Tabla 18. Datos resultados de la simulación sistema GRID TIED.	105
Tabla 19. Potencia teórica del sistema Aislado.	105
Tabla 20. Factores perdidos por acumulación.....	106
Tabla 21. Factores perdidos por inversor.	106

Tabla 22. Factores perdidos por auto descarga de la batería.....	106
Tabla 23. Factores perdidos por controlador de carga.	107
Tabla 24. Factores profundidad de descarga.	107
Tabla 25. Factores por perdidas no consideradas.	107
Tabla 26. Factor de rendimiento sistema aislado.	108
Tabla 27. Características panel solar.	109
Tabla 28. Numero de paneles para sistema aislado.	110
Tabla 29. Especificaciones regulador de carga.	110
Tabla 30. Numero de baterías sistema aislado.....	113
Tabla 31. Potencia teórica del sistema hibrido (inversor cargador).....	114
Tabla 32. Factor de rendimiento sistema con inversor cargador.....	115
Tabla 33. Energía requerida diaria a producir sistema hibrido.	115
Tabla 34. Numero de paneles sistema hibrido.....	116
Tabla 35. Especificaciones inversor hibrido.....	116
Tabla 36. Numero de baterías sistema Hibrido.....	117
Tabla 37. Análisis de los tres sistemas fotovoltaicos.	118
Tabla 38. Dimensionados conductores de los paneles fotovoltaicos.	121
Tabla 39. Dimensionados conductores a la salida del inversor.	121
Tabla 40. Dimensionadas protecciones al inversor.....	121
Tabla 41. Dimensionadas protecciones salida del inversor.	122
Tabla 42. Energía exportada por el sistema	123
Tabla 43. Parámetros análisis financiero.	124
Tabla 44. Resultados Análisis financiero.	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Capa anódica sobre la superficie de aluminio.	26
Figura 2. Descripción del proceso de anodizado.....	27
Figura 3. Proceso interactivo de la experimentación.	32
Figura 4. Proceso cíclico de verificación de datos y retroalimentación.	32
Figura 5. Mapa conceptual de la clasificación de los diseños de experimentos. ...	33
Figura 6. Pasos para llegar al ANOVA en un diseño 2k.	39
Figura 7. Baño de soda caustica para el decapado.....	51
Figura 8. Celda electroquímica con sus diferentes componentes.....	53
Figura 9. Horno utilizado en la empresa Electroquímica Recubrimientos para el secado.....	54
Figura 10. Diagrama paso a paso del proceso de anodizado.....	54
Figura 11. Diagrama de conexiones de la celda electroquímica.....	56
Figura 12. Curva de carga de la celda electroquímica proceso de anodizado de la empresa Electroquímica Recubrimientos (Medicion1-10).	57
Figura 13. Curva de carga de la celda electroquímica proceso de anodizado de la empresa Electroquímica Recubrimientos (Medicion10-21).	58
Figura 14. Diagrama de dispersión energía vs producción y línea base de consumo energético.....	63
Figura 15. Diagrama sankey del proceso de anodizado.....	65
Figura 16. Grafica de línea meta y línea base de consumo energético.	66
Figura 17. Grafica de indicador de consumo real e indicador de consumo base vs producción.....	68
Figura 18. Grafica de indicador base 100.	70

Figura 19. Gráfico de sumas acumuladas de las mediciones realizadas en la empresa Electroquímica Recubrimientos.....	71
Figura 20. Dimensiones de las barras rectangulares.	75
Figura 21. Decapado de aluminio mediante baño de soda caustica.....	76
Figura 22. Banco de pruebas electroquímico.	76
Figura 23. Interfaz hombre máquina para controlar las variables del proceso.....	77
Figura 24. Proceso de anodizado de aluminio.	78
Figura 25. Datos de corriente a) corriente de 0.77 A y b) corriente de 0.39 A.	79
Figura 26. Curva voltaje-tiempo del primer tratamiento.	80
Figura 27. Sellado de la capa anódica para mejorar la fijación al aluminio.....	81
Figura 28. ANOVA realizado con valores obtenidos mediante la Ley de Faraday de la electrolisis.	85
Figura 29. Efectos y coeficientes codificados (contrastes) (Faraday).	86
Figura 30. Resumen del modelo (Faraday).	87
Figura 31. Grafica de los efectos normales estandarizados (Faraday).....	87
Figura 32. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Faraday).	88
Figura 33. ANOVA realizado con valores obtenidos mediante la ecuación predictiva del espesor.	89
Figura 34. Efectos y coeficientes codificados (contrastes) (Ecuación predictiva).	90
Figura 35. Resumen del modelo (Ecuación predictiva).	91
Figura 36. Grafica de los efectos normales estandarizados (Ecuación predictiva).	91
Figura 37. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Ecuación predictiva).	92

Figura 38. Datos de corrientes.....	94
Figura 39. Informe ecuación de regresión y porcentaje de predicción del modelo.	97
Figura 40. Área del techo empresa Electroquímica Recubrimientos.	99
Figura 41. Horas de sol pico para cada mes.....	100
Figura 42. Irradiancia promedio mes de Julio.....	101
Figura 43. Características del transformador al cual está conectada la empresa Electroquímica Recubrimientos.	102
Figura 44. Relación de descarga de la batería seleccionada para el sistema aislado.	111
Figura 45. Servicio de la deuda.....	123
Figura 46. Flujo de caja Anual Análisis financiero.	124

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reacción de oxidación.	26
Ecuación 2. Efecto principal.	38
Ecuación 3. Efecto de interacción de los k factores.	39
Ecuación 4. Contraste con combinación línea.	40
Ecuación 5. Contrastes correspondientes al efecto A, b y la interacción AB.	41
Ecuación 6. Efectos correspondientes a cada factor y sus interacciones.	41
Ecuación 7. Suma de cuadrados de los tratamientos.	41
Ecuación 8. Suma de cuadrados total de los tratamientos.	42
Ecuación 9. Suma de cuadrados total de los tratamientos.	42
Ecuación 10. Grados de libertad de cada uno de los tratamientos.	42
Ecuación 11. Los grados de libertad totales de los tratamientos. [7].....	42
Ecuación 12. Los grados de libertad total de los tratamientos.	42
Ecuación 13. Media de cuadrados de los tratamientos.	43
Ecuación 14. Media de cuadrados del error.	43
Ecuación 15. Media de cuadrados total de los tratamientos.	43
Ecuación 16. Distribución F para cada tratamiento.	44
Ecuación 17. Cálculo del flujo volumétrico utilizado.	59
Ecuación 18. Cálculo de energía térmica consumida.	60
Ecuación 19. Cálculo de potencia térmica utilizada.	60
Ecuación 20. Ecuación energía vs producción.	64
Ecuación 21. Cálculo de ahorro máximo por variabilidad operacional.	66
Ecuación 22. Cálculo de indicador de consumo. [16].....	67

Ecuación 23. Cálculo de indicador de consumo base. [16]	68
Ecuación 24. Ecuación calculo indicador base 100. [16]	69
Ecuación 25. Ecuación calculo indicador CUSUM. [16]	71
Ecuación 26. Cálculo de espesor mediante la ley de Faraday.	82
Ecuación 27. Cálculo del espesor a partir de ecuación predictiva.....	83
Ecuación 28. Ecuación de regresión para el espesor por Faraday.	87
Ecuación 29: Ecuación de regresión para espesor por método predictivo.	91
Ecuación 30. Regresión del espesor.	97
Ecuación 31. Caculo de coeficiente de rendimiento de la instalación fotovoltaica con acumulación. [22].....	106
Ecuación 32. Energía requerida a producir. [22].....	108
Ecuación 33. Energía requerida diaria a producir.	108
Ecuación 34. Paneles en paralelo [22].....	109
Ecuación 35. Energía producida por panel [22].	109
Ecuación 36. Paneles en serie [22].	109
Ecuación 37. Numero de paneles. [22].....	110
Ecuación 38. Cálculo de baterías.	112
Ecuación 39. Cálculo de baterías paralelo.....	113
Ecuación 40. Cálculo de baterías serie.....	113
Ecuación 41. Capacidad de acumulación batería.	113

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tipos de soluciones electrolíticas, aplicaciones y otras características.	133
Anexo B. Clase y medida de espesores para aplicaciones concretas.....	134
Anexo C. Construcción de tablas de diseño de experimentos 2^2 cuando $k \leq 5$	135
Anexo D. Pasos para llegar a la ANOVA en un diseño 2^5	136
Anexo E. Cuestionario de entrada (Funcionamiento de la empresa).....	138
Anexo F. <i>minutos que se utiliza el gas durante 21 días.</i>	139
Anexo G. Mediciones de potencia en alterna en las 21 pruebas.....	140
Anexo H. Mediciones de potencia en continua en las 21 pruebas.....	142
Anexo I. Composición química y propiedades mecánicas del aluminio: aleación Al-1050.	144
Anexo J. Valores monitoreados de tiempo, temperatura del electrolito, voltaje, corriente continua y potencia de cada uno de los tratamientos.....	145
Anexo K. Curva Voltaje-Tiempo del proceso de anodizado con cada uno de los tratamientos.....	154
Anexo L. Variables codificadas.....	155
Anexo M. Tabla F de Fisher a un nivel de significancia del 0.05.	157
Anexo N. Valores monitoreados de tiempo, temperatura del electrolito, voltaje y corriente continua del proceso de anodizado realizado con las variables de operación de la empresa Electroquímica Recubrimientos.	158
Anexo O. Curva Voltaje-Tiempo del proceso de anodizado realizado con las variables de operación de la empresa Electroquímica Recubrimientos.....	161
Anexo P. Simulación en PVsyst del sistema GRID TIED.	162

Anexo Q. Característica detallada y precio del panel solar Jinkosolar modelo JKM 370M-72.	168
Anexo R. Característica detallada y precio del inversor Growatt New ENERGY modelo Growatt 2500 Hf.	170
Anexo S. Característica detallada y precio del regulador de carga Vitron Energy modelo Smart Charge solar controller Mppt 150/85.	172
Anexo T. Valores de corriente continua en las 21 pruebas.	173
Anexo U. Característica detallada y precio de la batería Leoch battery modelo LPG series Gel.	175
Anexo V. Característica detallada y precio del inversor hibrido (inversor-cargador) Vitron Energy modelo Smart Charge solar controller Mppt 150/85.....	177
Anexo W. Cálculo de protecciones.	178
Anexo X. Diagrama del sistema GRID TIED.	179
Anexo Y. Inversión inicial del sistema GRID TIED.	180
Anexo Z. Curva de generación y datos de exportación del sistema.	181

GLOSARIO

Proceso electrolítico: Proceso químico en el cual consiste en descomponer una solución o un electrolito mediante el paso de corriente desde el cátodo al ánodo, en los cuales ocurren cambios de reducción y oxidación respectivamente.

Alúmina: Oxido de aluminio obtenido de la anodización de aluminio el cual tiene propiedades protectoras ante la oxidación producida naturalmente.

Capa anódica: Es una capa protectora de base metálica que protege contra la acción de numerosos medio agresivos.

Capa barrera: Es la capa protectora que se forma en los primeros minutos del proceso de anodizado.

Capa porosa: Es la capa protectora que se forma al final del proceso de anodizado, por ende, se encuentra encima de la capa barrera y su crecimiento se debe a la disolución provocada por el electrolito

Energía química: Es el potencial que tiene una sustancia en sus enlaces para sufrir una transformación.

Corrosión: Es el deterioro o destrucción de un material debido al ataque electroquímico del ambiente.

Abrasión: Es el deterioro o destrucción de un material por la acción mecánica del rozamiento.

Efecto Joule: Perdida de energía debido a la cinética de los electrones la cual se evidencia como calor.

Técnica Volta métrica: Técnica utilizada en la electroquímica para la medición de espesores aplicando un potencian variable a la celda electroquímica para medir la intensidad eléctrica.

Coulombimetria: Técnica utilizada en la electroquímica para la medición de espesores la cual se basa en invertir el proceso de recubrimiento para establecer la cantidad de material transformada en la reacción.

Florescencia de rayos X (UV-VIS): En la electroquímica, es una técnica utilizada para la medición elemental de muestras, utiliza radiación electromagnética con el fin de provocar transiciones electromagnéticas las cuales pueden ser cuantificadas.

Energía: Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares.

Línea de base energética: Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.

Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada.

Eficiencia energética: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.

Desempeño energético: Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.

Indicador de desempeño energético IDEn: Valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización.

Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación de la energía.

Procedimiento: Forma especificada de llevar a cabo una actividad o proceso.

Uso significativo de la energía: Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.

Análisis estadístico: Método estadístico el cual ayuda extraer información de los datos de interés.

Notación de yates: Es una forma de referirse a los diseños factoriales a una potencia de n .

Células fotovoltaicas: Es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en energía eléctrica mediante un proceso fotoeléctrico [13].

RESUMEN

En este documento, se puede observar la metodología desarrollada para realizar caracterización energética del proceso de anodizado y determinación de la influencia de la formación de alúmina en el consumo de energía. Tomando como referencia la empresa *Electroquímica Recubrimientos* de la ciudad de Bucaramanga, en la cual se realizaron mediciones de consumo de energía y esto permitió realizar un análisis con datos reales en escala industrial.

Este proyecto se llevó a cabo en 3 etapas importantes, la primera etapa es una etapa donde se realizaron mediciones de consumo de energía a la empresa, se realizó la caracterización del proceso de anodizado realizado por la empresa electroquímica recubrimientos y se caracterizó energéticamente en función de la producción. La segunda etapa fue de experimentación en el banco de pruebas electroquímico de planta piloto del programa ingeniería en energía de la universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), en esta etapa con la caracterización industrial previa se recreó a escala de laboratorio, el proceso de anodizado realizado por la empresa. Se realizó un análisis de experimentos, el cual permite observar la influencia de las variables del proceso (tiempo, densidad de corriente, concentración electrolito) en la formación de la capa de alúmina. La última etapa es de análisis donde se plantean mejoras en base a la caracterización energética y el análisis de experimentos previos, con el fin de reducir el consumo energético del proceso de anodizado realizado por la empresa electroquímica recubrimientos. En esta misma etapa se plantean tres diseños de sistemas fotovoltaicos para seleccionar el más viable técnica y económicamente para ser implementados por la empresa electroquímica recubrimientos, y así reducir costos de pago en la factura de energía eléctrica.

En la caracterización energética realizada a la empresa Electroquímica Recubrimientos, se encontró que el proceso de anodizado se realiza de manera ineficiente, lo cual genera altos costos de energía. Gracias al análisis de experimentos y la caracterización energética realizados, se encontraron

interesantes mejoras para ser implementadas por la empresa y así llevar acabo de manera eficiente el proceso de anodizado, lo cual produce ahorros económicos. En base a las tres propuestas de sistemas fotovoltaicos, se seleccionó un sistema conectado a la red como la mejor opción para ser implementado. Dicho sistema tiene una potencia nominal de 2.59[kW] y generaría anualmente 4010 [kWh], lo que produciría un ahorro del 30.3% de consumo de energía eléctrica, con base al promedio anual de la empresa Electroquímica Recubrimientos.

ABSTRACT

In this document, you can see the methodology developed to perform energy characterization of the anodizing process and determination of the influence of alumina formation on energy consumption. Taking as a reference the company Electroquímica Recubrimientos from the city of Bucaramanga, in which energy consumption measurements were made and this allowed an analysis with real data on an industrial scale.

This project was carried out in 3 important stages, the first stage is a stage where energy consumption measurements were made to the company, the characterization of the anodizing process carried out by the electrochemical coatings company was carried out and it was characterized energetically based on the production. The second stage was experimentation in the electrochemical test bench of the pilot plant of the energy engineering program of the Autonomous University of Bucaramanga (UNAB), in this stage with the previous industrial characterization, the anodizing process carried out was recreated on a laboratory scale by the company. An analysis of experiments was carried out, which allows observing the influence of the process variables (time, current density, electrolyte concentration) in the formation of the alumina layer. The last stage is analysis where improvements are proposed based on the energy characterization and the analysis of previous experiments, in order to reduce the energy consumption of the anodizing process carried out by the electrochemical company coatings. In this same stage, three designs of photovoltaic systems are proposed to select the most technically and economically viable to be implemented by the electrochemical coating company, and thus reduce payment costs in the electricity bill.

In the energy characterization carried out at the Electroquímica Recubrimientos company, it was found that the anodizing process is carried out inefficiently, which generates high energy costs. Thanks to the analysis of experiments and the energy characterization carried out, interesting improvements were found to be

implemented by the company and thus efficiently carry out the anodizing process, which produces economic savings. Based on the three proposals for photovoltaic systems, a system connected to the grid was selected as the best option to be implemented. Said system has a nominal power of 2.59 [kW] and would generate 4010 [kWh] annually, which would produce a saving of 30.3% in electricity consumption, based on the annual average of the Electroquímica Recubrimientos company.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el proceso de anodizado de aluminio en la industria es realizado por pequeñas y medianas empresas de manera artesanal montando su propia celda electroquímica, esto conlleva un alto consumo de energía.

El proceso de anodizado de aluminio por sus características de operación, demanda elevados valores de corriente con el fin de suplir las densidades de corriente necesarias (entre 1 A/dm² a 5 A/dm²) para anodizar las piezas de aluminio [1].

En Bucaramanga la empresa *Electroquímica Recubrimientos* es la única que realiza el proceso de manera industrial, debido al poco conocimiento el consumo de energía demandado por la celda electroquímica utilizada para el anodizado de aluminio es elevado. Identificada la necesidad de disminuir el consumo de energía, en este trabajo se realizó la caracterización energética y del proceso de la empresa con el fin de identificar potenciales fuentes de mejora, posteriormente se llevan a cabo pruebas experimentales teniendo en cuenta las variables del proceso de anodizado realizado por la empresa, con el objetivo de determinar en que medida afectan las variables de operación en el espesor de la capa anódica, logrando así establecer el tiempo ideal de operación. Por último, se hizo el estudio económico y técnico de tres sistemas fotovoltaicos, seleccionando así el más eficiente y viable para las necesidades de la empresa.

Planteamiento del problema.

En la industria electroquímica, procesos como el anodizado de aluminio tiene alto consumo de energía. Varias empresas bumanguesas relacionadas con el proceso, han optado con suspenderlo ya que acarrea un alto costo económico mantenerlo de manera constante y eficiente. En Colombia este proceso se realiza con tecnología básica y artesanal, llevando consigo altas pérdidas de energía. En este contexto se hace necesario plantear mejoras con el fin de reducir los costos de energía del proceso de anodizado y contribuir para que el proceso se realice de manera más

eficiente. Mencionado esto la pregunta a responder con el desarrollo de este proyecto es, ¿De qué manera se puede mejorar energéticamente el proceso de anodizado y disminuir sus costos teniendo como principio el uso racional y eficiente de la energía?

Justificación.

El uso racional y eficiente de la energía representa un avance hacia la planificación de energía sustentable, es decir se realiza un buen uso de los recursos naturales con los que se genera energía de diferentes formas. Además de esto su implementación es un avance hacia una energía mejor aprovechada donde se reducen costos y se contribuye a cuidar el medio ambiente. [2] Con lo mencionado anteriormente, se realiza la caracterización energética del proceso de anodizado, el cual es un proceso que conlleva un consumo de energía alto y costoso tomando como referencia la empresa *Electroquímica Recubrimientos* de la ciudad de Bucaramanga. Esto se realiza con el fin de plantear mejoras que puedan ser implementadas por esta y otras empresas que realicen el proceso, además de eso realizar un análisis de experimentos con el cual se pueda determinar la influencia de las variables en el consumo de energía y por último diseñar un sistema de energía alternativo el cual reduzca el consumo de este proceso.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. MARCO CONCEPTUAL

1.1.1. Anodizado

1.1.1.1. Anodizado en Colombia

Alrededor del 60% de las empresas que realizan el anodizado de aluminio en Colombia se encuentran trabajando en la informalidad, esto genera que el proceso se realice de manera genérica y por personas no calificadas, que al familiarizarse con el proceso montan su propia unidad productiva generando competencia debido a su bajo costo, el problema de esto es que operan de manera ineficiente consumiendo así mucha energía. [5]

En Bucaramanga solamente una empresa realiza el proceso de anodizado de aluminio, esta es: *Electroquímica Recubrimientos*, lastimosamente la empresa realiza el proceso de manera rudimentaria e ineficiente llevando consigo altos costos de energía.

1.1.1.2. Proceso de anodizado de aluminio

Es una técnica de recubrimiento que consiste en modificar la superficie del aluminio con una capa de óxido de aluminio “capas anódicas” o “alúmina” que posee características cerámicas (Al_2O_3) (ver Figura 1), la cual se produce de manera natural o artificial mediante un proceso químico conocido como “proceso electrolítico”; Este proceso se realiza a través de una solución electrolítica a la cual se le aplica corriente continua. El objetivo es mejorar la resistencia del aluminio a la corrosión y abrasión. [4]

Ecuación 1. Reacción de oxidación.

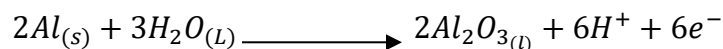
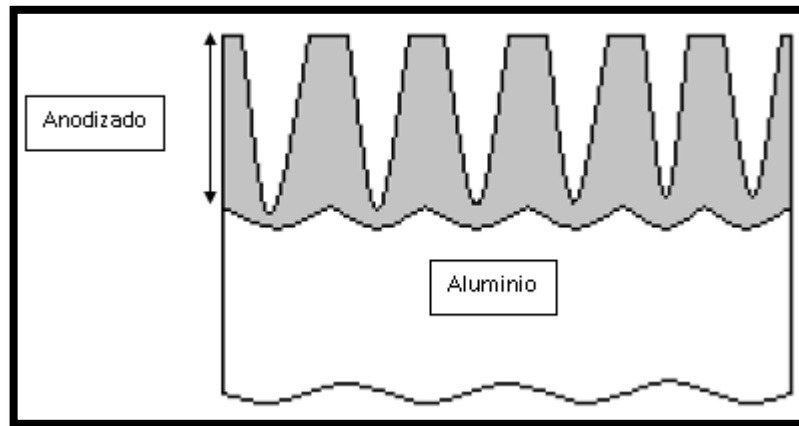


Figura 1. Capa anódica sobre la superficie de aluminio.



Fuente: Elaboración propia en base de “Protección de materiales anodizado de aluminio”. [4]

El anodizado de aluminio se desarrolla en una gran variedad de electrolitos (Ver anexo A), empleando diferentes condiciones de operación incluyendo la concentración y composición del electrolito, su temperatura, el tiempo de anodizado y la densidad de corriente en la celda electroquímica.

Durante el proceso se crean dos capas anódicas; una fina y otra delgada conocidas como capa barrera y capa porosa respectivamente, producidas por acción del ácido en el aluminio.[4]

Dependiendo de las condiciones de proceso, el anodizado proporciona una superficie con propiedades específicas, según las expectativas y la aplicación deseada (Ver anexo B). [3]

A continuación, se muestra los pasos que se realizan normalmente en el anodizado industrial (Figura 2).

Figura 2. Descripción del proceso de anodizado.

PROCESO DE ANODIZADO

1. PREPARACION SUPERFICIAL



- A. Pulido con cepillo de algodón
- B. Lijado con bandas de lija
- C. Gratado con cepillo metálico.
- D. Otros tipos de pulido

2. DESENGRASE



- A. Acido para el esmerilado, gratado etc.
- B. Alcalino para el pulido.

3. DECAPADO



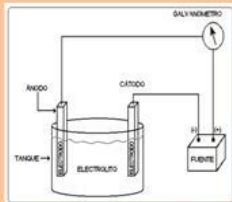
Este paso se realiza introduciendo la pieza en soda caustica al 5% a temperatura de 40°C - 45°C

4. NEUTRALIZADO



Se realiza introduciendo el material en acido nítrico al 50% a temperatura ambiente

5. OXIDACION ANODICA



Acido sulfúrico al 30% en agua a 40°C y corriente continua a 1.5 A/Dm²

6. COLORACION



- A. coloración orgánica
- B. coloración electrolytica

Fuente: Elaboración propia.

- Espesor de la capa de oxido

Según estudios, se ha observado que el espesor de las capas anódicas no resulta proporcional a la duración del proceso de anodizado, dichas capas solo tienen crecimiento dentro de un rango de tiempo, por lo tanto, hay una limitación en el crecimiento de estas capas de forma natural, para mantener el proceso de manera eficiente es necesario establecer en qué tiempo el espesor de la alúmina es el

indicado para la aplicación deseada y así reducir el consumo de energía total del proceso. [7]

a) Técnicas de caracterización de la capa anódica

Tabla 1. Técnicas de caracterización de la capa anódica.

TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN	
TÉCNICA	RESULTADOS OBTENIDOS
Difracción de rayos X (DRX)	Análisis de estructura Tamaño del espesor de la capa
Coulombimetria	Tamaño del espesor de la capa
Métodos electromagnéticos	Tamaño del espesor de la capa
Microscopia electrónica de barrido (MEB)	Morfología de la superficie y tamaño de los poros

Fuente: Elaboración propia.

- Influencia de las variables en el proceso de anodizado

a) Temperatura

La acción de la temperatura no afecta la velocidad de formación del óxido, en cambio sí afecta de forma exponencial la disolución de la capa, lo que provoca que las capas de alúmina no se formen de manera regular. [5]

b) Densidad de corriente

La densidad de corriente afecta de manera proporcional a la formación de la capa protectora de alúmina y afecta de forma indirecta a la disolución del óxido gracias al efecto joule. el cual aumenta la temperatura del proceso. [5]

c) Concentración del electrolito

La velocidad de formación de la capa protectora es proporcional a la disolución electrolítica debido a la conductividad del electrolito, siendo esta una función lineal creciente de la concentración. [5]

d) Tiempo del anodizado

Normalmente se suele pensar que cuanto más largo sea el tiempo del proceso de anodizado mayor será el espesor de la capa protectora; pero a su vez la disolución del óxido en el electrolito aumenta llegando así a un tiempo en donde las velocidades de oxidación y disolución son iguales y por lo tanto la capa protectora no aumenta su espesor. [5]

1.1.2. Caracterización energética

1.1.2.1. Que es una caracterización energética

La caracterización energética es un proceso que busca encontrar oportunidades para optimizar el consumo de energía en cualquier proceso u equipo consumidor de energía. En este proceso se relacionan la eficiencia energética, el manteamiento y operación como principales componentes para analizar en los sistemas, con el fin de concluir que recomendaciones y acciones deben hacerse para mejorar el consumo energético del sistema [9].

Los objetivos de una caracterización energética son los siguientes:

- Evaluar cualitativa y cuantitativamente el consumo de energía.
- Determinar la eficiencia energética, pérdidas y gastos innecesarios de energía en equipos y procesos.
- Identificar potenciales ahorros de energía.
- Establecer indicadores energéticos y estrategias de operación y mantenimiento con el fin de reducir el consumo de energía.

Los pasos para realizar una caracterización energética se pueden resumir en 4 etapas básicas y fundamentales que son los siguientes:

- Solicitud de información. (consumos energéticos de los últimos años, producción realizada en igual proceso de tiempo).

- Caracterización energética del sistema consumidor de energía.
- Identificación de opciones para reducir el consumo de energía.
- Estrategia de mejoras de eficiencia energética.

1.1.3. Análisis de experimentos

Son modelos estadísticos cuyo objetivo es mostrar si determinadas variables o factores influyen en una muestra de interés. También, gracias al análisis es posible cuantificar el efecto de estas variables. El experimentador debe tener en cuenta que a pesar de que el análisis nos muestra si un factor o una variable produce un efecto sobre la respuesta de interés, no es posible determinar el cómo ni el por qué afecta.

[6+]

Es muy frecuente que se realicen experimentos modificando las variables de operación, teniendo como objetivo mejorar el proceso y hacerlo más eficiente. Es cotidiano que las pruebas se hagan al ensayo y error, dejando a un lado la experiencia sin llevar a cabo un plan experimental el cual garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas, por lo tanto, el diseño de experimentos es una forma eficaz de realizar pruebas de tal manera que obtengamos los mejores resultados los cuales al realizarles un análisis estadístico permitan concluir de manera esperada y ayuden a responder las interrogantes planteadas.

Un ejemplo de esto sería: se desea estudiar el efecto sobre la acidez que tiene la presión, la temperatura y el tipo de levadura en un lote de cerveza. El análisis de experimento no solo tiene en cuenta el efecto individual de estas variables sobre la acidez, también tiene en cuenta la interacción de estas, ya que en un experimento al tener presente muchos factores no se descarta la idea que estos interactúen entre si produciendo un efecto sobre la respuesta.

Para el análisis de experimentos, no es recomendable utilizar datos históricos para evaluar, ya que no se tendría en cuenta:

- Inconsistencia de datos.
- Variables con fuerte correlación.
- El rango de las variables controladas.

El diseño de experimentos también es interpretado como un proceso interactivo (Figura 3). en el cual interactúan dos polos, por un lado, esta las hipótesis “no real” y por el otro los hechos “lo real”.

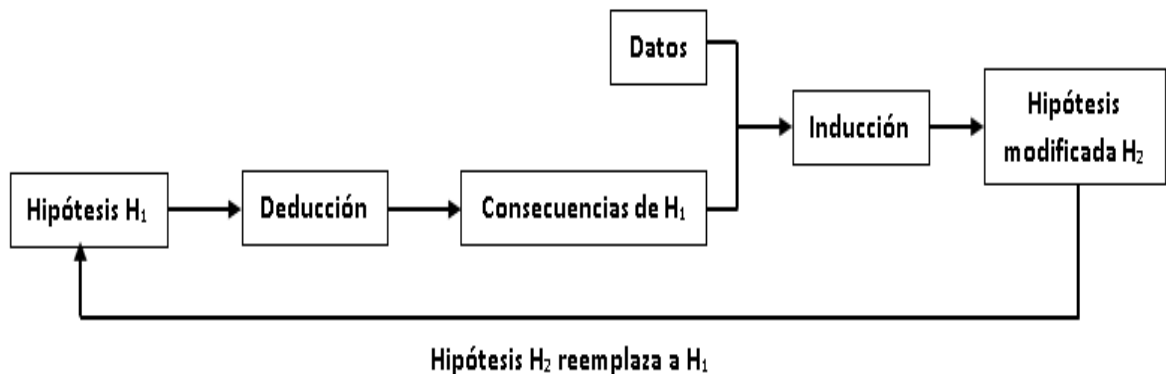
Figura 3. Proceso interactivo de la experimentación.



Fuente: Elaboración propia tomado del libro “Análisis y diseño de experimentos”.

Este proceso interactivo puede verse como un ciclo de retroalimentación (Figura 4). en donde debido al estudio de los datos, llevan de una hipótesis H_1 a una hipótesis modificada H_2 , la cual tiene que volver a pasar el proceso de verificación de datos.

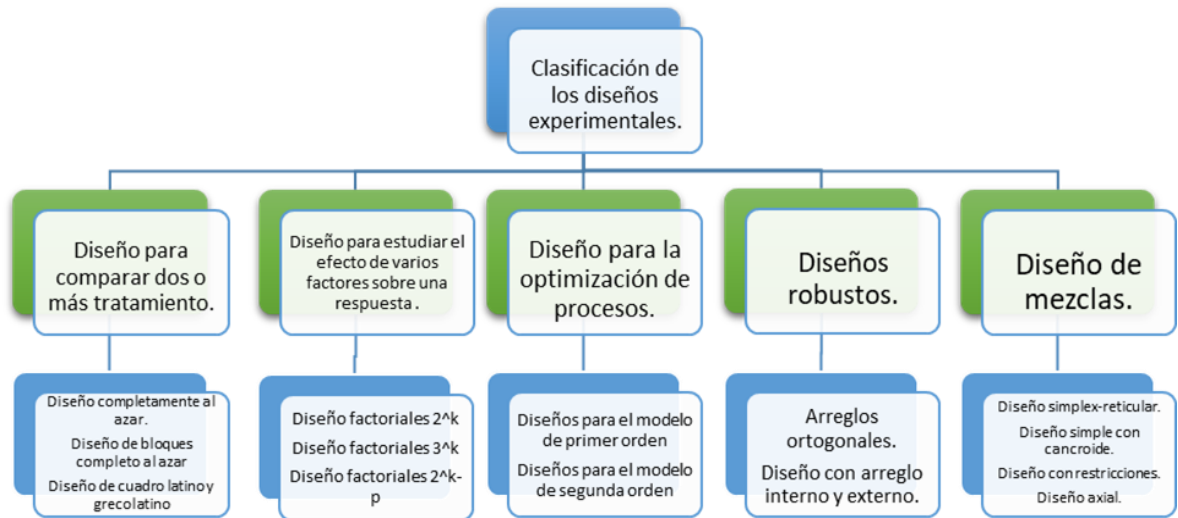
Figura 4. Proceso cíclico de verificación de datos y retroalimentación.



Fuente: Elaboración propia tomado del libro “Análisis y diseño de experimentos”.

1.1.3.1. Clasificación de los diseños experimentales

Figura 5. Mapa conceptual de la clasificación de los diseños de experimentos.



Fuente: Elaboración propia tomando datos del libro “Análisis y diseño de experimentos”.

1.1.3.2. Variabilidad

Uno de los objetivos del diseño de experimentos es controlar la variabilidad de los procesos aleatorios. Normalmente los resultados de cualquier experimento están sometidos a tres tipos de variabilidad.

- Variabilidad sistemática planificada: Este tipo, viene ligada con la dispersión de los resultados gracias a las diferencias sistemáticas impuestas en el diseño por el experimentador. Es deseable que exista esta variabilidad y que sea identificada y cuantificada.
- Variabilidad típica de la naturaleza del experimento: Es una variabilidad propia del experimento creada por el ruido aleatorio. Es inevitable, si el

experimento está bien diseñado es una variabilidad medible de la cual se puede concluir y realizar predicciones.

- Variabilidad sistemática no planificada: Es producida por causas no planificadas, la presencia de esta variabilidad puede llevar a conclusiones erróneas y a estudios incorrectos.

1.1.3.3. Planificación de un experimento

En la ciencia y en la industria la experimentación es de gran importancia, normalmente los resultados del proceso son afectados por la presencia de distintos factores cuya influencia se encuentra o se puede visualizar gracias a la variabilidad de los resultados muestrales. Para el experimentador es fundamental conocer los factores que influyen, para esto es necesario variar la condición de los factores y realizar la observación de la variable. [6]

Normalmente este método de análisis experimental se basaba en estudiar los factores uno a uno, esto significaba que se variaba los niveles de un factor y los otros permanecían fijos, este proceso tiene varios inconvenientes los cuales son:

- Se precisan varias pruebas, en lo posible más de dos.
- Las conclusiones que tenía el experimentador para cada factor eran restringidas.
- Es inviable debido al tiempo y el costo que conlleva realizar las pruebas.

Actualmente las técnicas de diseño de experimentos analizan simultáneamente los factores de interés, gracias a esto son más eficaces a menor costo.

- Etapas del diseño de experimentos

Para la correcta realización de un diseño de experimentos estas etapas se deben ejecutar de manera secuencial.

- Establecer el objetivo del experimento e identificar las fuentes de variación de los resultados, entre estas están:
 - o Factores, tratamientos y sus niveles.
 - o Unidades experimentales.
 - o Factores nuisance.
- Elegir una regla de designación de las unidades experimentales a las condiciones de estudio (tratamientos).
- Especificar las medidas con las cuales se trabajará el diseño de experimentos y anticiparse a las posibles dificultades.
- Ejecutar un experimento piloto.
- Especificar el modelo.
- Esquematizar los pasos del análisis.
- Determinar el tamaño de la muestra.

A continuación, se realiza una breve descripción cada una de las etapas a seguir:

- Definir los objetivos del experimento: se debe establecer la finalidad del diseño de experimentos, sin necesidad de abordar temas colaterales ya que estos nos llevarán a concluir de manera incorrecta.
- Establecer la respuesta del experimento y corroborar que su medición sea muy exacta, ya que de esta respuesta depende todo el análisis.
- Identificar en su totalidad las posibles fuentes de variación (factores): es recomendable establecer una lista de todas las cosas o acciones que generen variabilidad, ya sean externas como propias del experimento.
 - o Factor de tratamiento: Son de bastante importancia para el experimentador ya que estas pueden describir cómo es el proceso o mejor, pueden mostrar cómo afectan las variables.

- Factores nuisance: Normalmente no son de interés analizar estos tipos de factores, pero se tienen en cuenta para reducir la variabilidad.
- Planear y organizar el trabajo experimental: Luego de establecer las posibles fuentes de variación o factores y de seleccionar el nivel de cada uno se procede a planear detalladamente el experimento.
- Realizar el experimento.
- Factores y sus niveles

Se le llama factor a cualquier variable de observación la cual tenga un efecto sobre la respuesta a estudiar. Los niveles de un factor son los grados específicos de este, los cuales se tendrán en cuenta cuando se realice el experimento, estos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos. Se debe aclarar que los factores cuantitativos se tratan como factores cualitativos. En un experimento se trabaja con máximo 4 factores.

Ejemplos de factores cualitativos:

- El tipo de material.
- El sexo de las personas.
- El color.

Ejemplos de factores cuantitativos:

- El porcentaje de alcohol.
- La temperatura.
- El voltaje.

Cuando se realiza un análisis con más de un factor se le llama tratamiento a cada combinación de los niveles de los distintos factores, observación a una medida observada dada las condiciones de un tratamiento y análisis factorial a el diseño en el cual existen observaciones de todos los posibles tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Esquema de un análisis factorial.

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	N: Tratamiento	Y
1	1	1	¿?
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	

Fuente: Libro “Análisis y diseño de experimentos”. [6].

Los factores nuisance son de poco interés para el experimentador, pero su influencia sobre la respuesta puede ser significativa trayendo consigo un aumento en la variabilidad no planificada.

Algunos tipos de factores nuisance son:

- Factor bloque.
- Factor ruido.
- Covariables.

En conclusión, las posibles fuentes de variación de unos experimentos son:

Tabla 3. Posibles fuentes de variación de unos experimentos.

Fuente	Tipo
Debido a las condiciones de interés (Factores tratamiento)	Planificada y sistemática
Debido al resto de condiciones controladas (Factores nuisance)	Planificada y sistemática
Debido a condiciones no controladas (Error de medida)	No planificada, ¿Sistemática?

Fuente: Libro “Introducción al diseño de experimentos”. [6]

- Análisis

En esta etapa se debe tener presente que los resultados son observaciones muestrales, debido a esto su análisis se debe hacer por medio de métodos estadísticos inferenciales para visualizar las diferencias muestrales. La técnica estadística utilizada en el análisis de experimentos es ANOVA (acrónimo en inglés) llamado análisis de varianza.

- Interpretación

Aquí se debe interpretar el método estadístico usado, se debe contrastar los resultados de este con las medidas del experimento.

- Conclusión final

Tomando como base lo visto en el experimento y los resultados del análisis estadístico, se realizará una recomendación para que futuros experimentadores puedan aplicar mejoras.

1.1.3.4. Diseño de experimentos 2^k

Es un diseño factorial completo con K factores y dos niveles de prueba cada uno, gracias a su eficacia, es una de las familias de diseño de mayor impacto. Este diseño factorial es muy útil cuando el número de factores esta entre dos y cinco ($2 \geq k \leq 5$), ósea es el rango donde el diseño tiene mínimo 4 tratamientos o máximo 32 tratamientos. [6].

En el anexo C se muestra la matriz del diseño factorial 2^k cuando $k \leq 5$ y considerando una réplica, en ella se puede observar los números de tratamientos, su notación de yates y por último los factores con sus respectivos niveles de prueba.

Gracias al diseño factorial completo 2^k (ver anexo D) se puede estudiar la siguiente cantidad de efectos.

Ecuación 2. Efecto principal.

$$\binom{k}{1} = k$$

Ecuación 3. Efecto de interacción de los k factores.

$$\binom{k}{k} = \frac{k!}{k! * (k - k)!}$$

El total de efectos estudiados sería $2^k - 1$. [3]

Donde:

- k : Numero de factores.

1.1.3.5. ANOVA

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica esencial en el análisis de experimentos. La idea principal de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. Esta técnica sirve para probar dos hipótesis.

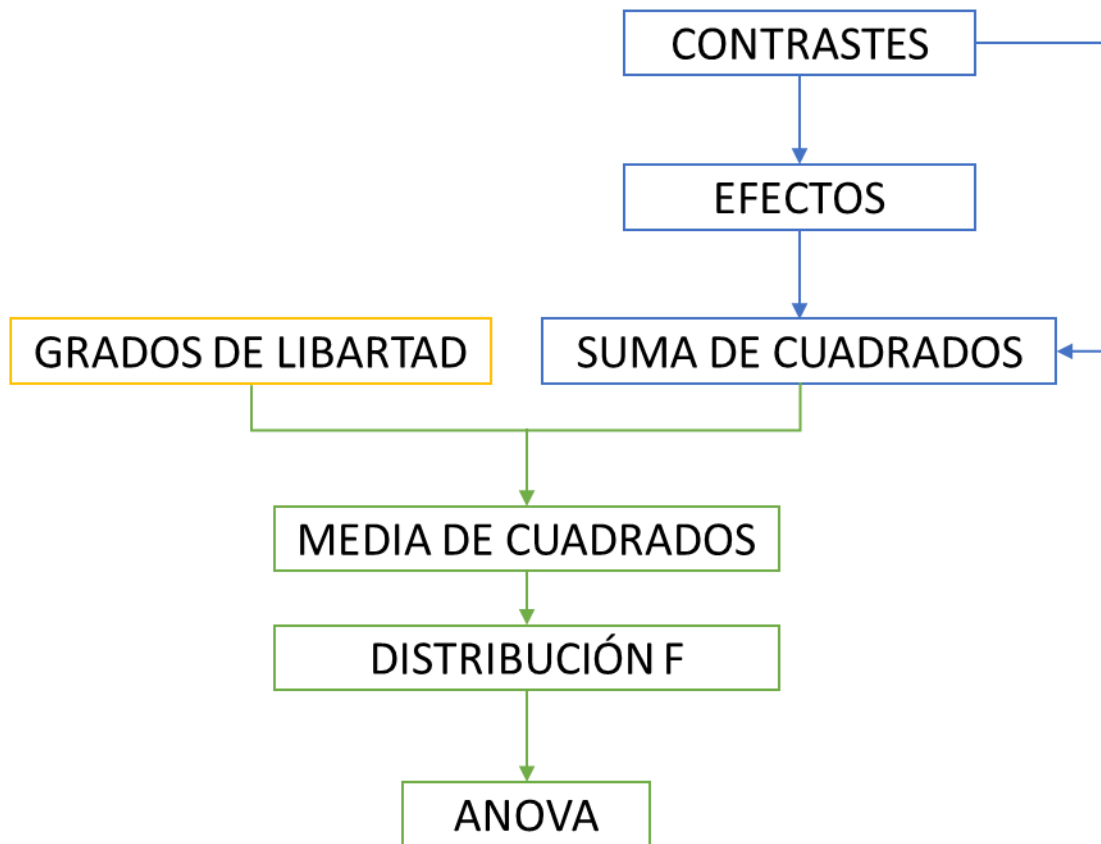
- Hipótesis nula (H_0): Establece que todas las medias de una población son iguales.
- Hipótesis alterna (H_1): Establece que al menos una de todas las medias es diferente.

Para poder realizar un ANOVA es necesario contar con una variable de respuesta continua y por lo menos un factor con dos niveles de significancia. [6].

- Pasos para realizar el ANOVA

En el ANOVA se va a estudiar uno o más factores puntualmente, sus interacciones, el error atribuible a la medición y todo el conjunto de mediciones (Figura 6).

Figura 6. Pasos para llegar al ANOVA en un diseño 2^k .



Fuente: Elaboración propia guiándose del Libro “Análisis y diseño de experimentos”. [6].

a) Contraste

Para realizar el cálculo de los contrastes de cada factor y de sus interacciones se debe construir la tabla de signos del diseño.

Ecuación 4. Contraste con combinación línea.

$$C = \sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i, \text{ con } \sum c_i = 0$$

Donde:

- 2^k : Diseño factorial.
- c_i : Nivel del factor en el tratamiento i (+ o -).

- Y_i : Suma de las observaciones del tratamiento i .

Otra forma de escribir el contraste de un factor es, por ejemplo, se tiene un diseño factorial 2^2 en el cual los contrastes corresponden a los tres efectos A, B y AB.

Ecuación 5. Contrastes correspondientes al efecto A, b y la interacción AB.

$$\text{Contraste A} = [a + ab - b - (1)]$$

$$\text{Contraste B} = [b + ab - a - (1)]$$

$$\text{Contraste AB} = [ab + (1) - a - b]$$

Donde:

- a : Primer factor seleccionado por el experimentador.
- b : Segundo factor seleccionado por el experimentador.
- ab : Interacción de los factores.

Cada término del contraste viene dado por la notación de Yates y su signo viene dado por el nivel del tratamiento en ese factor.

b) Efectos

El efecto de cada factor muestra que tan significativo es este para el experimento. Se estima a partir de los contrastes. [7]

Ecuación 6. Efectos correspondientes a cada factor y sus interacciones.

$$\text{Efecto ABC ... K} = \frac{(\text{Contraste ABC ... K})}{n2^{k-1}}$$

c) Suma de cuadrados

Es necesario hallar la suma de cuadrado de cada uno de los factores y sus interacciones (tratamientos), del error de medición y la del total de los tratamientos.

Ecuación 7. Suma de cuadrados de los tratamientos.

$$SC_{TRAT} = \frac{(\sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i)^2}{n2^k}$$

Ecuación 8. Suma de cuadrados total de los tratamientos.

$$SCC_T = \frac{v_T}{n2^k}$$

Ecuación 9. Suma de cuadrados total de los tratamientos.

$$SC_T = \sum SCC_{TRAT} + SCC_e$$

Donde:

- v_T : Varianza total de la población. [7]
- SC_T : Suma de cuadrados totales.
- SCC_{TRAT} : Suma de cuadrados de los tratamientos.
- SCC_e : Suma de cuadrado del error.
- n : Numero de replicas realizadas en el experimento

d) Grados de libertad

Son aquellas observaciones las cuales puedo utilizar para determinar los valores de parámetros de población desconocida y a partir de estos calcular su variabilidad. Los grados de libertad se calculan a partir de las siguientes expresiones.

Ecuación 10. Grados de libertad de cada uno de los tratamientos.

$$GL_{TRAT} = K - 1$$

Cabe recalcar que los grados de libertad de las interacciones de los factores se obtiene mediante la multiplicación de los grados de libertad de cada factor que actúa sobre esta.

Ecuación 11. Los grados de libertad totales de los tratamientos. [7]

$$GL_T = n2^k - 1$$

Ecuación 12. Los grados de libertad total de los tratamientos.

$$GL_T = \sum GL_{TRAT} + GL_e$$

Donde:

- GL_T : Grados de libertad total de los tratamientos.
- GL_{TRAT} : Grados de libertad de los tratamientos.
- GL_e : Grados de libertad del error.

e) Media de cuadrados

Tiene el objetivo de suministrar el promedio de valores positivos y negativos al mismo tiempo, también ayuda a calcular la dispersión promedio de los datos. [7]

Ecuación 13. Media de cuadrados de los tratamientos.

$$MC_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{GL_{TRAT}}$$

Ecuación 14. Media de cuadrados del error.

$$MC_e = \frac{SC_e}{GL_e}$$

Ecuación 15. Media de cuadrados total de los tratamientos.

$$MC_T = \frac{SC_T}{GL_T}$$

Donde:

- MC_T : Media de cuadrados total de los tratamientos.
- MC_{TRAT} : Media de cuadrados de los tratamientos.
- MC_e : Media de cuadrados del error.

f) Distribución F

Es una distribución continua que muestra la relación de dos variables, la distribución F está dada por los grados de libertad de los tratamientos en el numerador y del error en el denominador. Si la F_{TRAT} es mayor que la F_0 la cual es el percentil $(1-\alpha)$ *

100 de la distribución F , se contradice la hipótesis nula, en cambio si esta es menor se acepta la hipótesis nula, esto para un nivel de significancia (α). [7]

Ecuación 16. Distribución F para cada tratamiento.

$$F_{TRAT} = \frac{MC_{TRAT}}{MC_e}$$

Donde:

- F_{TRAT} : Distribución F para el tratamiento

g) P-value

Es la probabilidad de obtener resultados de la prueba al menos tan extremos como los resultados realmente observados durante la prueba, si P-value es menor ($1 - \alpha$) se rechaza la hipótesis nula.

Tanto la distribución F como el P-value son dos formas que nos ayudan a aceptar o rechazar la hipótesis nula, al rechazar la hipótesis nula se establece que ese factor o interacción es una variable primordial en el experimento. [7]

1.1.3.6. Análisis de regresión

Este análisis tiene como objetivo modelar matemáticamente el comportamiento de una variable de respuesta que depende de uno o más factores. Para establecer el modelo es necesario tener datos obtenidos a partir de experimentos realizados.

1.1.3.7. Minitab

Es un software estadístico el cual fue diseñado para realizar operaciones estadísticas básicas y avanzadas, combinando las funciones y un poco la interfaz de Excel con la diferencia que es capaz de ejecutar análisis estadísticos más complejos.

1.1.4. Sistema de energía alternativa

1.1.4.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Un panel fotovoltaico, está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco. Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos.

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
 - Ser modulares.
 - Tener una larga duración
 - Tener una elevada fiabilidad.
 - No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
 - Tener un funcionamiento totalmente silencioso.
- Sistema solar fotovoltaico conectado a la red (GRID TIED)

Una instalación solar fotovoltaica conectada a la red es un sistema de generación de energía eléctrica la cual opera a la par con la red eléctrica, la energía generada por este sistema primeramente se consume por las cargas que se encuentran en funcionamiento, en caso de haber un exceso esta es inyectada a la red provocando que el medidor gire hacia atrás [11].

Normalmente este sistema es utilizado donde el sistema eléctrico nacional esta disponible, una de las ventajas de este sistema es que no necesita acumulación de energía y tampoco de regulador de carga.

- Sistema solar fotovoltaico con inversor/cargador

Una instalación solar fotovoltaica con inversor/cargador es una instalación en donde el inversor/cargador tiene la función de detectar cuando la tensión de una batería o grupos de baterías posee una tensión baja con el fin de priorizar la carga de estas. [12]

- Sistema solar fotovoltaico aislado

Una instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de energía eléctrica sin conexión a la red la cual proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol. Normalmente se requiere el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares o baterías que permite utilizarla durante las 24 horas del día.

Estas instalaciones fotovoltaicas aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea y especialmente en las zonas rurales remotas [13].

1.2. ESTADO DEL ARTE

Tabla 4. Estado del arte.

Nombre del documento o proyecto.	Autor.	Año de publicación.	Aporte.
Obtención de óxido de aluminio a partir de residuos originados del proceso de anodizado en	Andrea Alexandra Rojas Jiménez	2007	Sirve como referencia para establecer el método de medición de espesor más conveniente a utilizar para realizar el

industrias de Colombia. [3].			análisis de experimentos.
Desarrollo de un proceso de anodizado electrolítico sobre duraluminio en h3po4 con electrodeposición de níquel. [5].	Felix David Barajas Rueda y Jhon Alexander Mojica Galenao	2007	Proporciona ecuaciones para la obtención de el espesor mediante la capacitancia.
Electrochemical techniques in corrosion science and engineering. [10].	Robert G. Kelly, Jhon R. Scully, David W. Shoesmith y Rudolph G. Buchheit	2003	Es un libro el cual muestra el comportamiento de los metales ante la corrosión y soluciones para esta, suministrando ecuaciones base para comprender el fenómeno.
Síntesis y caracterización de nanoestructuras porosas de aluminio anodizado. [8].	Lina Mercedes Sanchez Botero.	2009	Tesis de grado en la cual fundamenta el efecto de las variables: temperatura, concentración del electrolito y corriente en el tiempo de formación de la capa de anodizado
Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía. [16]	Rosaura del Pilar Castrillon, Adriana Janeht Gonzalez y Enrique Ciro Quispe	2012	Proporciono el conocimiento sobre la gestión integral de la energía para ser adaptado al proceso de anodizado.
Análisis y diseño de experimentos. [6]	Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar.	2008	Libro de análisis de experimentos el cual nos proporciono el conocimiento sobre el desarrollo del ANOVA y la interpretación de sus resultados.

<p>Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 portátiles de la PUCP[13].</p>	<p>Paulo Daniel Valdivieso Salas</p>	<p>2014</p>	<p>Tesis de grado en la cual se realiza un diseño aislado el cual podemos usar como guía para realizar el diseño del sistema del proceso, además incluye cálculos de almacenamiento de energía en baterías.</p>
---	--------------------------------------	-------------	---

Fuente: Elaboración propia, información tomada de cada uno de los documentos nombrados.

2. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización energética del proceso de anodizado tomando como base una empresa del sector industrial de la ciudad de Bucaramanga con el fin de plantear mejoras que ayuden a disminuir el consumo energético del proceso y diseñar conceptualmente un sistema de energía alternativa el cual reduzca el pago de energía eléctrica de la empresa.

2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar la caracterización energética del proceso de anodizado en la empresa *Electroquímica Recubrimientos* del sector industrial de la ciudad de Bucaramanga.
- Analizar experimentalmente la influencia de formación de alúmina en el consumo de energía eléctrica en el proceso.
- Diseñar conceptualmente un sistema de energía alternativa que se adapte a las condiciones de operación del proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* y realizar el estudio financiero de este.

3. METODOLOGIA

Este proyecto se llevó a cabo en 3 etapas importantes, la primera etapa es una etapa donde se realizaron mediciones de consumo de energía a la empresa, se realizó la caracterización del proceso de anodizado realizado por la empresa *Electroquímica Recubrimientos* y se caracterizó energéticamente en función de la producción. La segunda etapa fue de experimentación en el banco de pruebas electroquímico de planta piloto de la carrera ingeniera en energía de la universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), en esta etapa con la caracterización industrial previa se recreó a escala de laboratorio el proceso de anodizado realizado por la empresa y se desarrolló un análisis de experimentos el cual permite observar la influencia de las variables del proceso (tiempo, densidad de corriente y concentración electrolito) en la formación de la capa de alúmina. La última etapa es de análisis donde se plantean mejoras en base a la caracterización energética y el análisis de experimentos previos, con el fin de reducir el consumo energético del proceso de anodizado realizado por la empresa electroquímica recubrimientos; en esta misma etapa se plantean tres diseños de sistemas fotovoltaicos para seleccionar el más viable técnica y económicamente para ser implementados por la empresa electroquímica recubrimientos y así reducir el consumo de energía eléctrica.

3.1. FASE UNO

- Caracterizar el proceso y conocer las variables de operación del proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.
- Realizar mediciones de consumo de energía eléctrica y térmica del proceso de anodizado.
- Caracterizar energéticamente el proceso en base a su producción.

3.2. FASE DOS

- Diseñar un ANOVA el cual permita conocer como afectan las variables de operación en el espesor del anodizado.

- Recrear a escala laboratorio el proceso de anodizado a partir de las variables de operación de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.
- Realizar experimentación en el banco de pruebas electroquímico.

3.3. FASE TRES

- Analizar los resultados de la caracterización energética y plantear mejoras al proceso de anodizado desarrollado por la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.
- Realizar un análisis estadístico con los resultados obtenidos en las pruebas experimentales con el fin de obtener un modelo matemático que establezca la relación del tiempo de anodizado con el consumo de energía.
- Diseñar conceptualmente un sistema de energía alternativo que supla la demanda del proceso dado los datos de consumo de este.
- Realizar un análisis financiero del sistema de energía alternativo.

4. DESARROLLO

4.1. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y DEL PROCESO DE ANODIZADO

4.1.1. Proceso de anodizado en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*

Inicialmente se realizó un cuestionario de entrada a la empresa *Electroquímica Recubrimientos* con el fin de conocer el funcionamiento, el modo de operación y como está organizada (Ver anexo E).

La empresa *Electroquímica Recubrimientos* se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga, cuenta con 6 operarios y realiza procesos electroquímicos como niquelado, cromado, pintura electrostática, galvanizado y anodizado de aluminio.

A continuación, se realiza la caracterización del proceso de anodizado, por lo tanto, se describe paso a paso el proceso de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*:

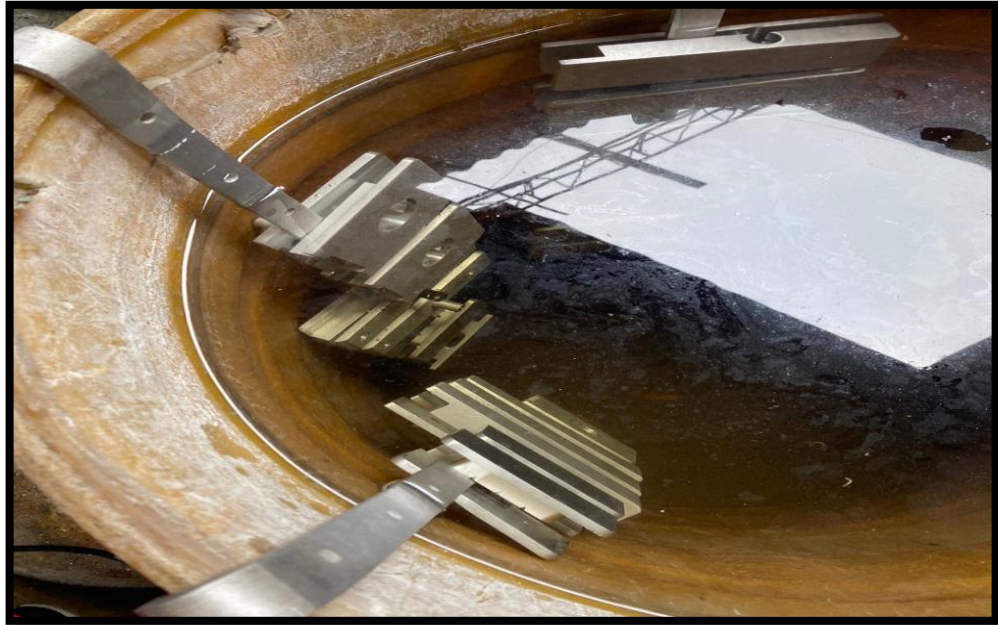
- Preparación superficial del material

El material (aluminio) es lijado con el fin de preparar la superficie.

- Decapado

El material es introducido a un baño de soda caustica al 10% aproximadamente según operarios, por alrededor de 15 minutos (Figura 7).

Figura 7. Baño de soda caustica para el decapado.



Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

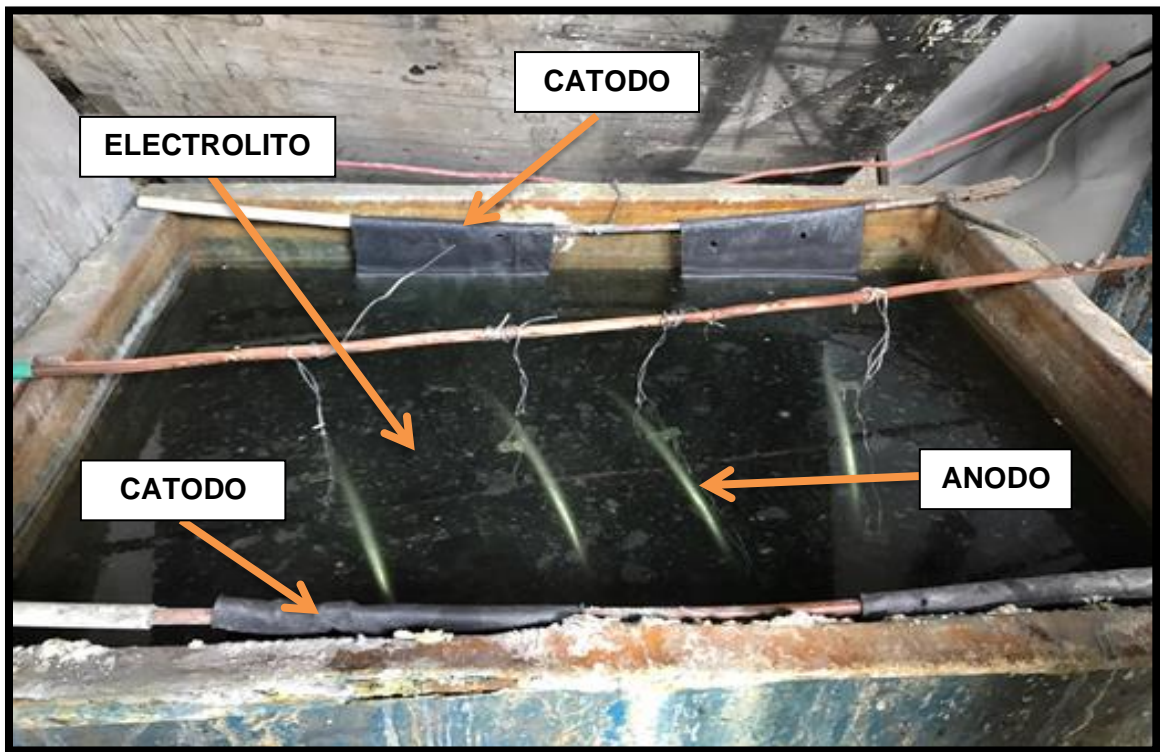
- Neutralizado

Luego del decapado, se neutraliza el PH de la superficie del material mediante un baño de ácido nítrico al 15%, en esta etapa se sumerge el material y se retira al instante.

- Oxidación anódica.

Una vez el material es preparado se introduce a la celda electroquímica (Figura 8) la cual está conectada a un rectificador de corriente que se encarga de convertir la corriente alterna a corriente continua y permite variar el voltaje de alimentación (8 v, 9 v, 10 v, 11 v, y 12 v). El proceso tiene una duración entre 45 min y 60 min dependiendo del área de trabajo del material, la celda cuenta con 2 cátodos, cada uno conformado por 2 láminas de plomo a lado y lado de esta, con esto se garantiza que ambas caras queden recubiertas por la capa de alúmina. En la Tabla 5 se muestran las variables de operación utilizadas en la empresa

Figura 8. Celda electroquímica con sus diferentes componentes.



Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Tabla 5. Variables del proceso de anodizado de aluminio utilizados en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Variables del Proceso	
Cátodo	Plomo (Pb)
Tiempo de operación	40 min a 60 min
Voltaje de alimentación	8 v a 12 v
Electrolito	ácido sulfúrico al 15%
Temperatura	25 °C
Densidad de corriente promedio	1.606382979 A/dm ²

Fuente: Elaboración propia datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

- Sellado

Finalizada la oxidación anódica, se remoja el material con agua a temperatura ambiente y posteriormente se introduce a un horno (Figura 9) a 200 °C por 10 minutos logrando así que la capa anódica se fije a la superficie del material.

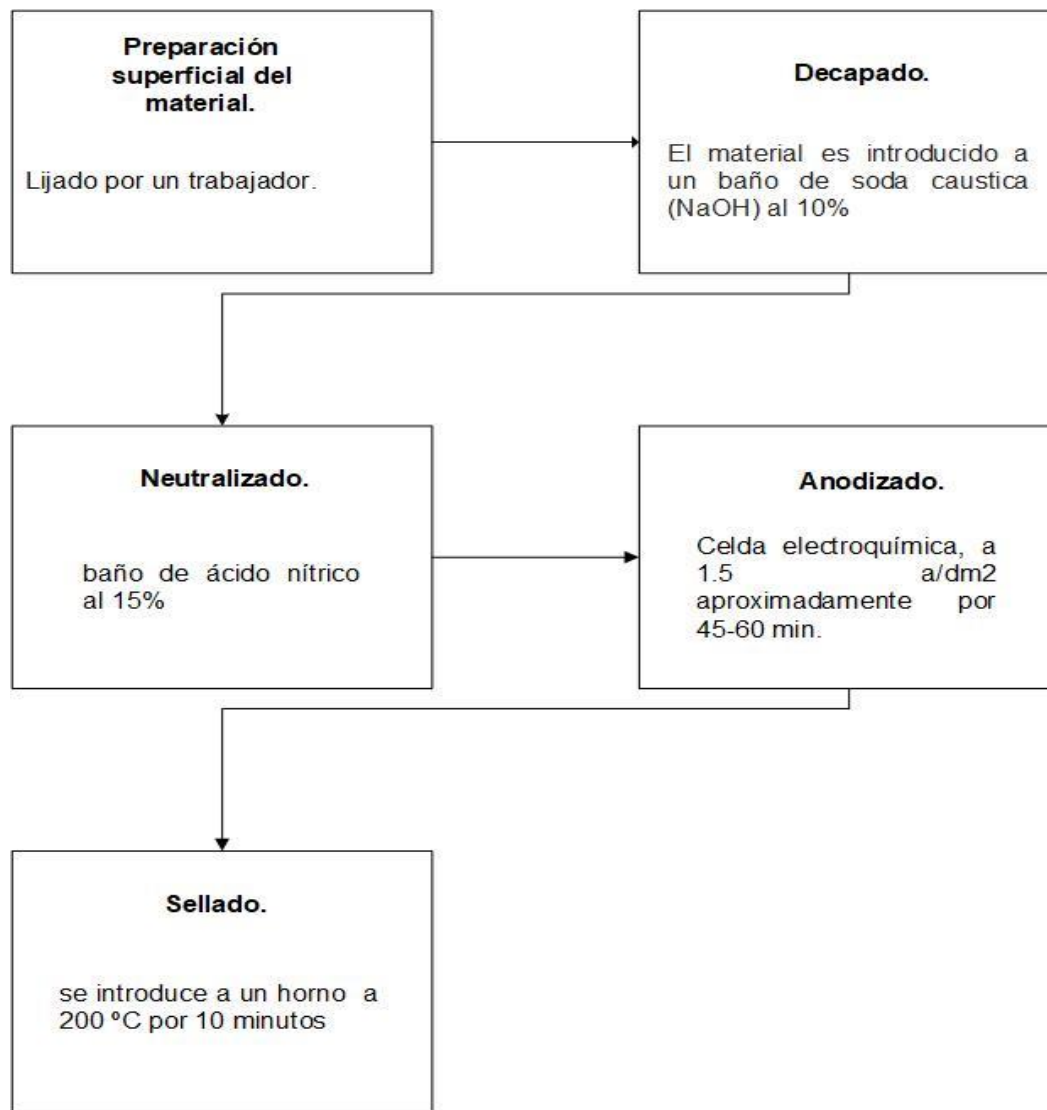
Figura 9. Horno utilizado en la empresa *Electroquímica Recubrimientos* para el secado.



Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

El proceso de anodizado en la empresa *Electroquímica Recubrimientos* solamente tiene estos 5 pasos mencionados anteriormente (Figura 10). Este proceso se hace por experticia del encargado, es decir, los parámetros y variables que se modifican no son bajo ningún fundamento teórico.

Figura 10. Diagrama paso a paso del proceso de anodizado.



Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

4.1.2. Caracterización energética del proceso de anodizado

Se realizó la caracterización energética del proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* de la ciudad de Bucaramanga con el fin de conocer

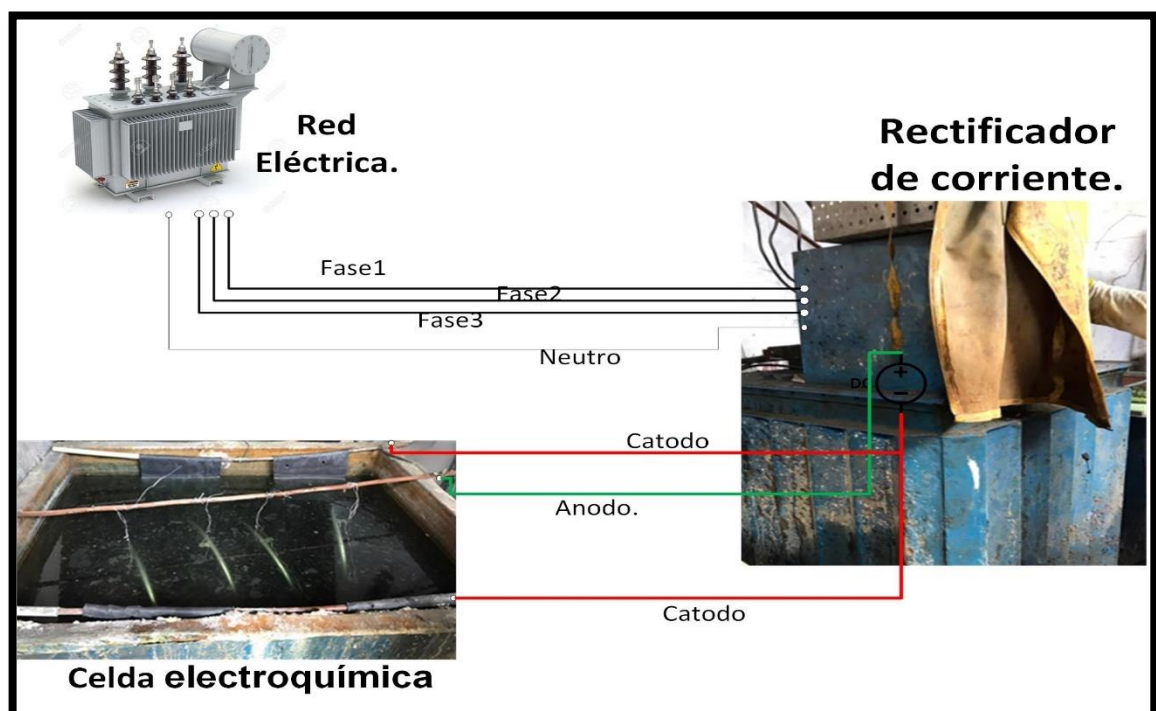
su consumo de energía y determinar posibles mejoras que se puedan realizar. En este proceso se determinaron 2 consumos de energía:

- Energía eléctrica consumida por la celda electroquímica.
- Energía térmica consumida por el horno encargado del sellado.

4.1.2.1. Consumo de energía eléctrica.

El consumo de energía eléctrica lo efectúa la celda electroquímica que está conectada a un rectificador de corriente. A continuación (Figura 11), se muestra un diagrama de las conexiones de la celda.

Figura 11. Diagrama de conexiones de la celda electroquímica.



Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Las mediciones de potencia eléctrica se realizaron antes del rectificador, se midió la potencia de cada fase y se sumaron para obtener la potencia total. A continuación (Tabla 6), se muestra una tabla con datos de la primera medición que se realizó en

la empresa, en total se realizaron otras 21 mediciones (las otras 21 mediciones se envían como evidencia).

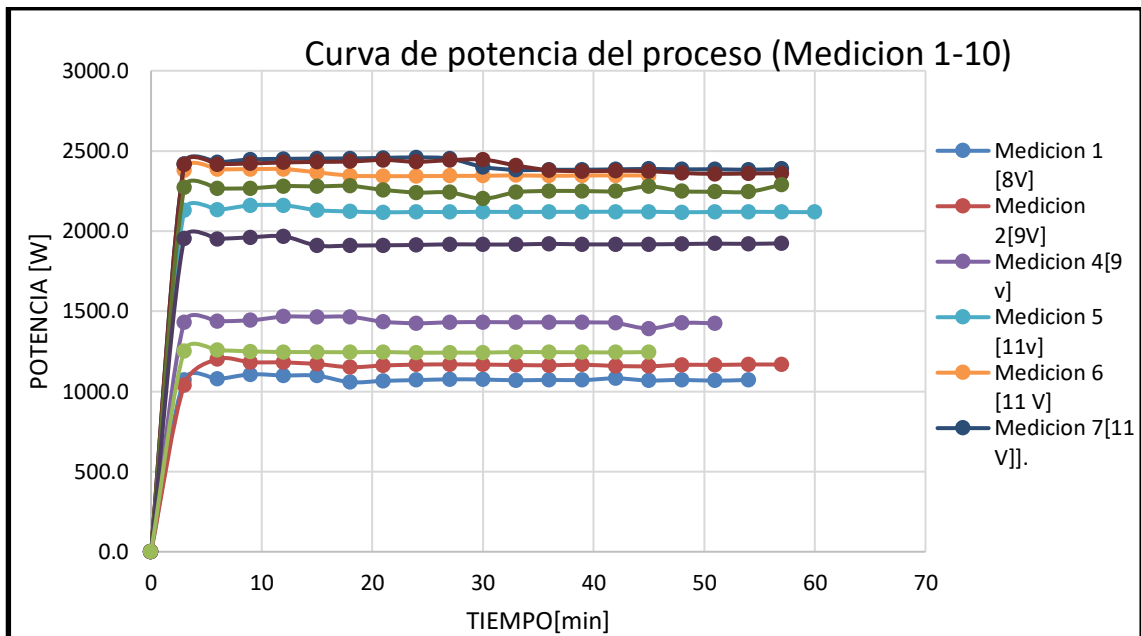
Tabla 6. Primera medición de potencia consumida de la red.

Mediciones de potencia prueba 1, Voltaje salida rectificador 8 V.					
Tiempo [m]	Potencia 1[W]	Potencia 2[W]	Potencia 3[W]	Potencia total[W]	Energía [W/h]
0	0,0	0	0	0	0
3	360.1	352.7	355.6	1071.4	53.57
6	363.2	355.7	357.9	1076.8	53.84
9	369.1	369.4	367.6	1106.1	55.305
12	366.2	367.6	365.8	1099.6	54.98
15	366.2	365.8	366.2	1098.2	54.91
18	354.4	353.3	349.7	1057.4	52.87
21	354.4	355.1	356.3	1065.8	53.29
24	359.1	356.3	355.1	1070.5	53.525
27	360.3	359.9	355.1	1075.3	53.765
30	366.2	355.1	352.8	1074.1	53.705
33	360.3	355.1	354	1069.4	53.47
36	359.1	356.3	356.3	1071.7	53.585
39	360.3	355.1	355.1	1070.5	53.525
42	367.4	357.5	356.3	1081.2	54.06
45	359.1	354	355.1	1068.2	53.41
48	360.3	355.1	356.3	1071.7	53.585
51	363.9	346.6	356.3	1066.8	53.34
54	360.3	355.1	356.3	1071.7	53.585
Total					968.32

Fuente: Elaboración propia tomada en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*

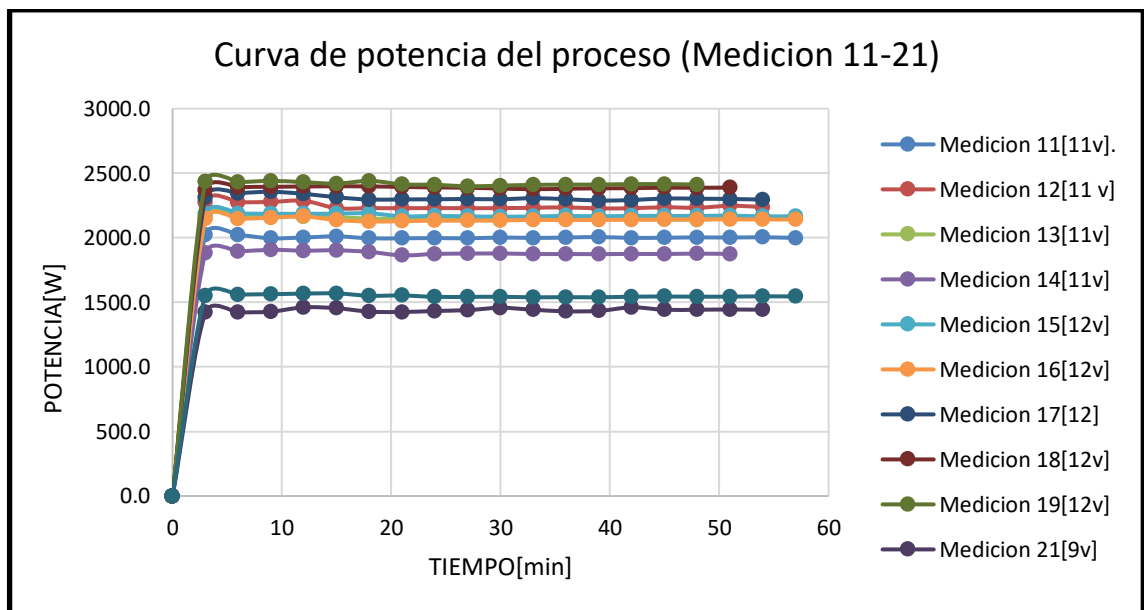
A continuación, se muestra la curva de carga del sistema con las mediciones 1-10 (Figura 12) y 11-21 (Figura 13) realizadas.

Figura 12. Curva de carga de la celda electroquímica proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* (Medicion1-10).



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Figura 13. Curva de carga de la celda electroquímica proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* (Medicion10-21).



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

En las gráficas anteriores se muestra las 21 mediciones de potencia que se realizaron antes del rectificador, el voltaje que tiene cada medición es el voltaje que el operario ajusta dependiendo del área que se va a anodizar con el cual se alimenta la celda electroquímica, es decir el voltaje de salida del rectificador.

4.1.2.2. Consumo de energía térmica

En el proceso de anodizado se realiza un subproceso que es el sellado del material para el cual se utiliza un horno industrial a gas que usa como combustible un cilindro de GLP (gas licuado de petróleo), para el cálculo de energía térmica que se consume en el proceso fue necesario determinar inicialmente el flujo volumétrico que consume el horno.

El cálculo del flujo volumétrico se realizó una vez el cilindro estuviera nuevo, en este caso era un cilindro de 100 lb de la empresa GASAN S.A. E.S.P, tomando como referencia la CREG (Comisión de regulación de energía y gas) este cilindro tiene una capacidad de llenado máximo de 21.3 Gal [14] y se contabilizó el uso que se le daba al horno a 200 °C para obtener el tiempo total en el cual el cilindro se vacía, este horno se utiliza en otros procesos de la empresa. El tiempo total medido fue de 7035 min, en el anexo F se muestra la tabla de los minutos que se utiliza el gas durante 21 días.

Ecuación 17. Cálculo del flujo volumétrico utilizado.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{21.3[gal]}{7035[min]}$$

$$Q = 0.003028 \left[\frac{gal}{min} \right]$$

Donde:

- Q : Flujo volumétrico del proceso [gal/min].
- V : Volumen del GLP [gal].
- t : Tiempo de vaciado [min].

Una vez obtenido el flujo volumétrico se calcula el consumo de energía, para este cálculo fue necesario conocer el poder calorífico del GLP, el cual es 82329 [BTU/gal] tomando como referencia el GLP producido en Colombia en datos investigados en un documento de la UPME [15].

Ecuación 18. Cálculo de energía térmica consumida.

$$Energia \left[\frac{BTU}{min} \right] = P.C \left[\frac{BTU}{gal} \right] * Q \left[\frac{gal}{min} \right]$$

$$Energia = 82329 \left[\frac{BTU}{gal} \right] * 0.003028 \left[\frac{gal}{min} \right]$$

$$Energia = 252.02 \left[\frac{BTU}{min} \right]$$

Donde:

- $P.C$: Poder calorífico del GLP [BTU/gal].
- Q : Flujo volumétrico del proceso [gal/min].
- $Energia$: Energía térmica consumida [BTU/min].

Una vez calculada la energía consumida por el horno se calcula la potencia térmica para así poder determinar la energía que consume el subproceso de sellado de aluminio. La potencia se halla con conversión de unidades.

Ecuación 19. Cálculo de potencia térmica utilizada.

$$P = 242,02 \left[\frac{BTU}{min} \right] * \frac{1 \frac{kw}{h}}{3412,14 Btu} * \frac{60 [min]}{1 h} * \frac{1000 [w]}{1 [kw]}$$

$$P = 4431.66 [W]$$

Donde:

- P : Potencia térmica utilizada [W].

A partir de la potencia calculada se calculó cuanta energía térmica se consume en el subproceso de sellado en las 21 pruebas (Tabla 7).

Tabla 7. Medición de consumo de energía térmica en el subproceso de sellado.

Medición N°	Tiempo sellado [min]	Energía Térmica [Wh]
1	10.32	762.246
2	12.34	911.445
3	11.87	876.730
4	12.52	924.740
5	13.73	1014.112
6	12.11	894.457
7	12.3	908.490
8	10.42	769.632
9	10.52	777.018
10	12.14	896.673
11	11.32	836.107
12	10.57	780.711
13	11.02	813.948
14	12.19	900.366
15	11.3	834.629
16	10.5	775.541
17	11.98	884.855
18	11.51	850.140
19	12	886.332
20	10.21	754.121
21	9.87	729.008
Promedio		846.729

Fuente: Elaboración propia datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

4.1.2.3. Línea base de consumo energético.

La línea base de consumo energético es una relación entre la energía consumida por el proceso y la producción, en este caso cm² de área anodizada. Esta relación

nos ayuda a determinar una ecuación lineal que representa el consumo de energía variando la producción, también nos permite encontrar la energía no asociada a la producción donde los potenciales de ahorro energético se encuentran inmersos dentro de ella [16]. A continuación, se muestra una tabla con los datos de energía y producción de la empresa Electroquímica *Recubrimientos*.

Tabla 8. Datos de producción y energía de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

# prueba	Fecha	Producción [cm ²]	Producción [m ²]	Energía eléctrica[W/h]	Energía térmica[W/h]	Energía total[W/h]
1	16/03/2020	4200	0.42	968.32	762.25	1730.57
2	16/03/2020	5800	0.58	1103.18	911.44	2014.63
3	16/03/2020	4950	0.50	934.43	876.73	1811.16
4	17/03/2020	6300	0.63	1219.68	924.74	2144.42
5	17/03/2020	10380	1.04	2125.24	1014.11	3139.35
6	18/03/2020	11243	1.12	1767.75	894.46	2662.20
7	18/03/2020	11000	1.10	2293.78	908.49	3202.27
8	18/03/2020	13510	1.35	2283.11	769.63	2052.74
9	19/03/2020	13540	1.35	2144.09	777.02	2.921.11
10	19/03/2020	9560	0.96	1925.29	896.67	2821.96
11	19/03/2020	9012	0.90	2002.74	836.11	2838.84
12	20/03/2020	10970	1.10	2018.56	780.71	2799.27
13	11/06/2020	10090	1.01	2044.45	813.95	2858.40
14	11/06/2020	7900	0.79	1599.82	900.37	2500.18
15	16/06/2020	10050	1.01	2065.01	834.63	2899.64
16	17/06/2020	10050	1.01	2033.35	775.54	2808.89

17	17/06/2020	11500	1.15	2192.33	884.85	3077.18
18	18/06/2020	11900	1.19	2029.53	850.14	2879.67
19	23/06/2020	11700	1.17	1935.04	886.33	2821.37
20	23/06/2020	6800	0.68	1471.69	754.12	2225.81
21	10/07/2020	6200	0.62	1287.11	729.01	2016.11
Promedió		9365	0.94	1783.07	846.73	2629.80

Fuente: Elaboración propia datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Con los datos medidos de producción [cm²] y energía total [Wh] se realiza un análisis de regresión en Excel para determinar los valores de la línea base de consumo energético (Tabla 9).

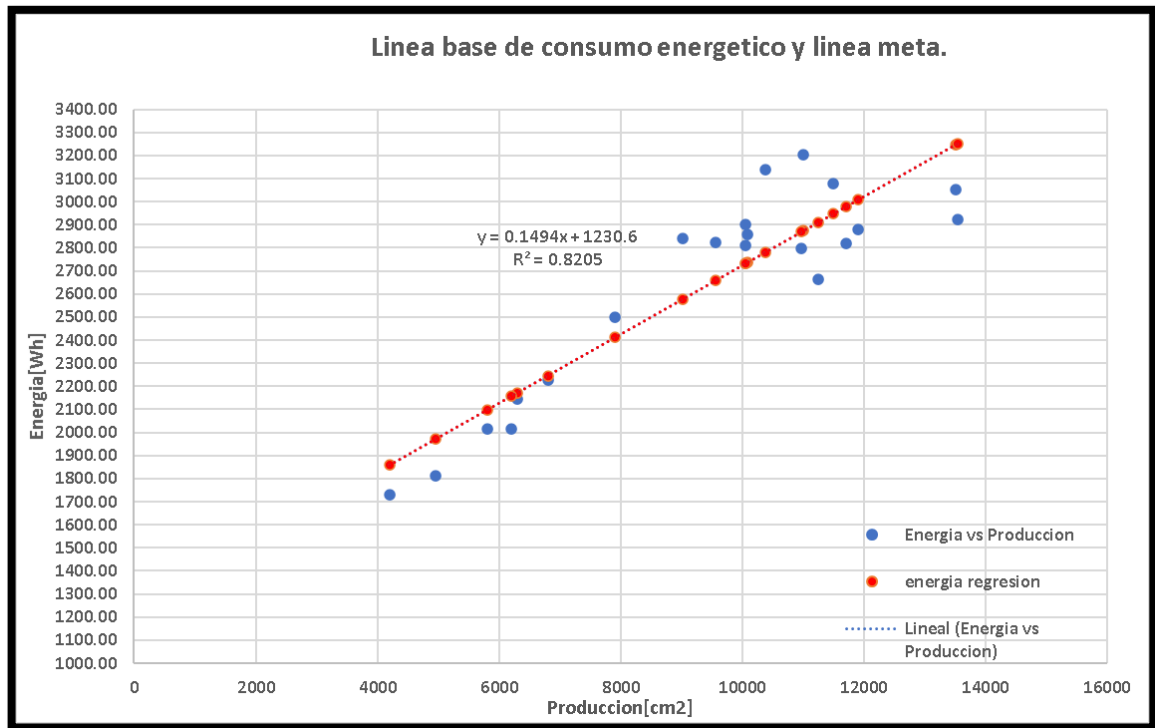
Tabla 9. Tabla de coeficientes regresión energía vs producción.

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	1230.648782	151.9012341	8.101637816	9.58577E-08
Variable X 1	0.149409518	0.015626771	9.561125544	6.69259E-09

Fuente: Elaboración propia datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

De la anterior regresión obtenemos los valores para hallar la ecuación de la línea base de consumo (Figura 14). Los coeficientes en la intercepción es la energía no asociada la producción y la variable X1 es la pendiente de la ecuación.

Figura 14. Diagrama de dispersión energía vs producción y línea base de consumo energético.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

De la anterior grafica obtenemos la ecuación de energía vs producción del proceso la cual es la siguiente:

Ecuación 20. Ecuación energía vs producción.

$$E = 0.1494p + 1230.6$$

Donde:

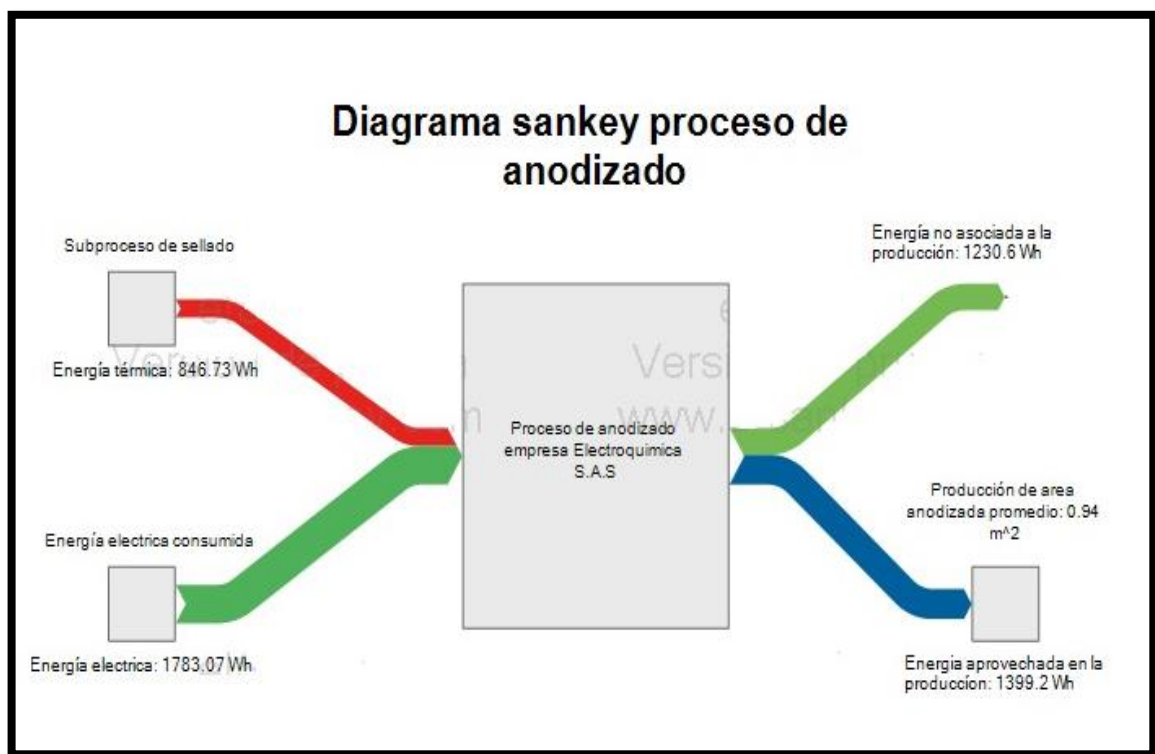
- p : Producción[cm²].
- E : Energía [Wh].

La energía no asociada a la producción es de 1230.6 Wh ya que es el punto de corte de la línea base, respecto al promedio de energía es un 46.78% lo cual significa que existe un potencial de ahorro significativo.

4.1.2.4. Diagrama Sankey del proceso

Se realizó un diagrama de sankey del proceso en cual muestra el consumo de energía en cada subproceso, este diagrama se realizó con el promedio de consumo de energía eléctrica y térmica, los datos de producción, energía aprovechada y energía perdida también son del promedio de todas las mediciones realizadas (Figura 15).

Figura 15. Diagrama sankey del proceso de anodizado.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

4.1.2.5. Estimación de potenciales de ahorro por variabilidad operacional.

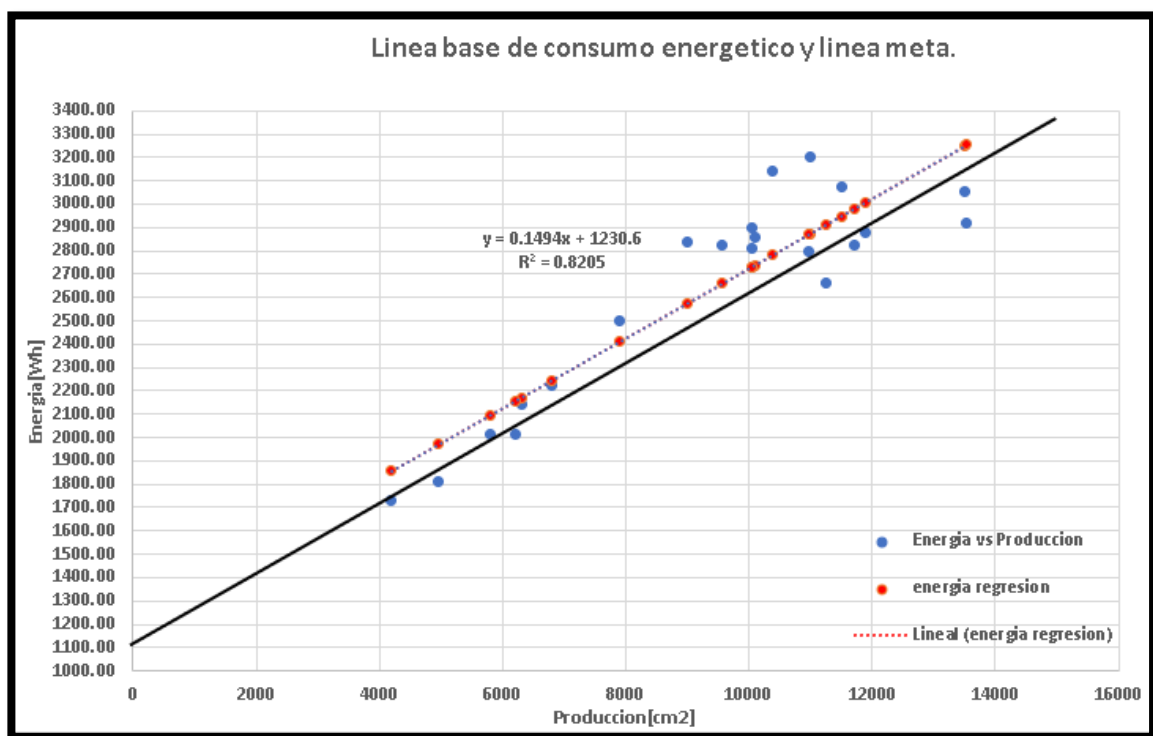
Los potenciales de ahorro se encuentran principalmente en la energía no asociada a la producción, en la figura 16 la energía no asociada a la producción es el intercepto de la ecuación de la línea base. Los potenciales de ahorro por variabilidad

operacional se pueden lograr analizando y estabilizando la operación puesto que para similares niveles de producción se observa diferentes consumos energéticos.

El objetivo de este análisis es estandarizar los consumos de energía mediante buenas prácticas y acciones de ahorro de energía. [16].

Se calculo una línea meta (figura 16), la cual es una línea paralela a la línea base de consumo energético y atraviesa el centro de los puntos de máxima eficiencia.

Figura 16. Grafica de línea meta y línea base de consumo energético.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Por último, se calculó el ahorro máximo que se podría realizar por variabilidad operacional. El punto de corte de la línea meta (línea negra) es de aproximadamente 1.100 [Wh], El porcentaje de ahorro se calculó de la siguiente manera.

Ecuación 21. Cálculo de ahorro máximo por variabilidad operacional.

$$\%Ahorro = \frac{\text{Intercepto línea base} - \text{Intercepto línea meta}}{\text{Intercepto línea base}} * 100$$

$$\%Ahorro = \frac{1230.6 - 1100}{1230.6} * 100$$

$$\%Ahorro = 10.6\%$$

4.1.2.6. Indicadores de desempeño energético

Los indicadores de desempeño energético permiten analizar el resultado de las acciones o buenas prácticas energéticas o la carencia de ellas. Estos indicadores relacionan la energía consumida y la producción. [16].

La información base para estructurar los indicadores corresponde es tomada de línea base de consumo energético. Se establecieron 3 indicadores energéticos: Indicador de consumo de energía (*IC*), indicador de eficiencia base 100 e indicador grafico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM).

- Indicador de Consumo *IC*.

El indicador de consumo específico de energía se define como la relación entre la energía consumida y el valor de la producción obtenida con dicha energía [16]. Este indicador brinda información del requerimiento energético unitario para un proceso, es posible hacer comparaciones para los mismos productos o usos.

Ecuación 22. Cálculo de indicador de consumo. [16]

$$IC = \frac{\text{Consumo de energía .}}{\text{Produccion.}}$$

Donde:

- *IC*: Indicador de consumo [Wh/cm²].
- Producción en [cm²].
- Consumo de energía [Wh].

A partir del cálculo de la line base (Figura 17) se obtiene el indicador de energía base.

Ecuación 23. Cálculo de indicador de consumo base. [16]

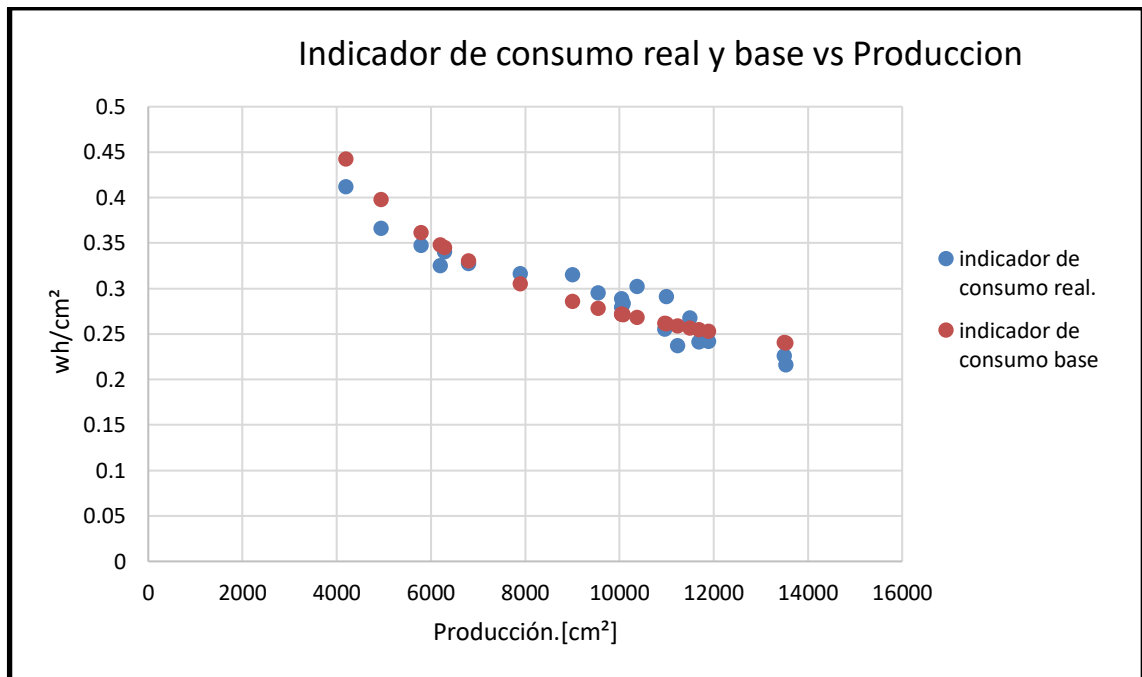
$$ICbase = \frac{m * p + Enap}{Produccion}$$

Donde:

- *ICbase*: Indicador de consumo base [Wh/cm²].
- *m*: Pendiente [0.1494].
- *p*: Producción [cm²]
- *Enap*: Energía no asociada a la producción [Wh].
- Producción en [cm²].

A continuación, se muestra una gráfica de dispersión del indicador de consumo real vs producción e indicador de consumo base vs producción.

Figura 17. Grafica de indicador de consumo real e indicador de consumo base vs producción.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Una vez obtenida la ecuación del indicador de consumo base (ecuación 23) se puede obtener un valor característico del rendimiento energético base para cada nivel de producción. De la anterior figura se puede deducir que es posible comparar el rendimiento energético medido para cada nivel de producción. [16]

- Indicador de eficiencia base 100.

Este indicador de consumo energético permite comparar el resultado del consumo energético medido en el proceso de anodizado durante un periodo de tiempo, con respecto a los valores de consumo energético base, se toma como referencia de cumplimiento un valor adimensional de 100 [16].

Ecuación 24. Ecuación calculo indicador base 100. [16]

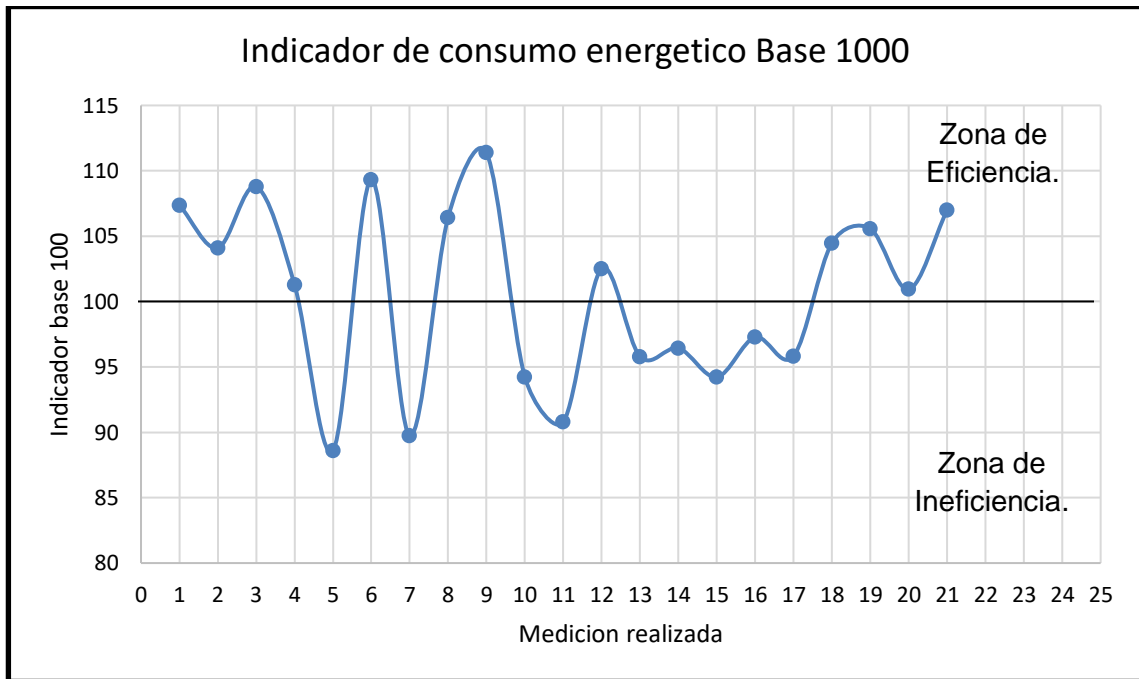
$$Base\ 100 = \frac{E_{base}}{E_{real}} * 100\%$$

Donde:

- *Ebase*: Energía base [Wh].
- *Ereal*: Energía real [Wh].

Este indicador se puede presentar de 3 formas diferentes (< 100), (> 100) y ($= 100$). En el caso donde el indicador es mayor a 100 significa que el consumo de energía del periodo analizado fue menor al consumo de energía base (eficiente). En el segundo caso donde el indicador de consumo energético es menor a 100 significa que el consumo medido fue mayor al de tendencia (Ineficiente). Para el último caso donde el indicador es igual a 100 simplemente el consumo es estable (Figura 18).

Figura 18. Grafica de indicador base 100.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

En la anterior figura existen 12 mediciones dentro de zona de eficiencia, las cuáles serán analizadas sus condiciones de operación para determinar un plan de acciones

que ayuden a mejorar el consumo energético de la empresa y se pueda llegar a la línea meta proyectada.

- Indicador de sumas acumuladas CUSUM.

Su gráfico muestra la tendencia del proceso en cuanto a la variación de sus consumos energéticos respecto a un período base dado. A partir del CUSUM se puede determinar cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha sobre consumido (Figura 19). [16].

Ecuación 25. Ecuación calculo indicador CUSUM. [16]

$$CUSUM = [energía\ real - energía\ base]_i + [energía\ real - energía\ base]_{i-1}$$

Figura 19. Gráfico de sumas acumuladas de las mediciones realizadas en la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.



Fuente: Elaboración propia gracias a los datos tomados de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

4.1.2.7. Diagnostico Energético

Se realiza un diagnóstico energético con el fin de identificar oportunidades de mejora energética del proceso. En el diagnóstico energético realizado se encontraron una serie de acciones que se pueden corregir con el fin de mejorar energéticamente el proceso. Se plantearon 2 tipos de mejoras, por variabilidad operacional y por reposición de equipos.

- Variabilidad operacional
 - El tiempo de operación del proceso no está estandarizado es decir se realiza de manera empírica por los operarios de la empresa. En las mediciones realizadas de consumo de energía térmica y eléctrica se analiza que el incremento de consumo de energía se debe al tiempo de operación de los equipos (celda electroquímica y horno industrial), se observó que en mediciones realizadas para similares producciones el tiempo del proceso varía significativamente, la opción de mejora de estos tiempos principalmente en la celda electroquímica es adquirir una cultura energética por parte de los operarios y tener más control en los tiempos del proceso. En este trabajo se realiza un análisis de experimentos con el fin de estandarizar el tiempo de anodizado en la celda electroquímica (revisar análisis de experimentos página 95), y así disminuir el consumo de energía eléctrica.
 - En las últimas 4 mediciones realizadas (medición 18,19,20,21), en la gráfica del indicador base 100 (revisar figura 18) y en la gráfica de sumas acumuladas (revisar figura 19), estas 4 mediciones se encuentran dentro de la zona de eficiencia y hacia la eficiencia respectivamente, esto se da porque la potencia eléctrica se redujo en comparación con similares niveles de producción, ya que el ácido sulfúrico (electrolito) se recargó el día 18 de junio de 2020, es decir aumento su concentración y esto permite que la conductividad eléctrica y el paso de energía se más eficiente, se plantea realizar una recarga del ácido más constante con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica.

- La densidad de corriente, la concentración del electrolito y el tiempo del proceso son variables que influyen en el consumo de energía eléctrica y el espesor de la capa anódica. En este documento de grado se realizó un análisis de experimentos para determinar la influencia de las variables en el proceso y poder encontrar una ecuación experimental que permite predecir el espesor y el consumo de energía y de una manera más eficiente llevar a cabo el proceso variando las condiciones de este.
- Reposición de equipos.
 - En la celda electroquímica la cual está conectada a un rectificador de corriente se encontró que en la mediciones realizadas (anexo G y anexo H) el promedio de potencia a la entrada es de 1941.4 [W] (corriente alterna) y a la salida del rectificador es de 1625.40 [W] (corriente continua), con una eficiencia eléctrica del rectificador del 83.722 %, esta eficiencia se puede mejorar realizando un mantenimiento al rectificador o remplazándolo por uno nuevo el cual aproveche de manera más eficiente la potencia de entrada.
 - EL horno industrial que se utiliza para el proceso es un horno de temperatura fija, es decir no permite variar la temperatura del horno. Para el proceso industrial de anodizado la temperatura de sellado es de 100°C a 150 °C [5] y se está realizando a 200 °C. Esto hace ineficiente el proceso ya que se está consumiendo más energía de la que realmente se necesita, y afecta de la misma manera a otros procesos de la empresa electroquímica recubrimientos. Como opción de mejora se plantea incorporar al horno un variador de flujo para controlar la entrada de gas al horno y así controlar de manera más eficiente la temperatura del horno en cada uno de los procesos realizados.

4.2. ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

4.2.1. Análisis factorial 2^3 del proceso de anodizado.

4.2.1.1. Diseño del experimento

El objetivo del experimento es establecer en qué medida afectan las variables de operación (factores) en el espesor de la alúmina [μm].

Los factores que se utilizan en el experimento serán:

- A: Tiempo [min].
- B: Densidad de corriente [A/dm^2].
- C: Concentración del electrolito [Molar].

En el experimento no se tendrá en cuenta la temperatura como factor ya que su variación es mínima y solo se produce debido al efecto Joule, se utiliza Plomo (Pb) como cátodo ya que es el más utilizado en el proceso de anodizado debido a sus propiedades electrolíticas y como electrolito ácido sulfúrico.

Para la realización del experimento establecemos dos niveles para cada fuente de variación, alto y bajo (Tabla 10) y un nivel de significancia de 0.05 , por lo tanto, el diseño del ANOVA es 2^3 obteniendo 8 tratamientos como pruebas (Tabla 11).

Tabla 10. Fuentes de variación con sus niveles.

Factores	Niveles	
	Alto (+)	Bajo (-)
A	60 min	15 min
B	1.618 A/dm^2	0.819 A/dm^2
C	1.68 molar (15%)	1.2 molar (10%)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Diseño factorial 2^3 .

Diseño factorial 2^3
--

N: Tratamiento	A: Tiempo [min]	B: Densidad de corriente [A/dm ²]	C: Concentración [molar]
1	60	1.618	1.2
2	60	1.618	1.68
3	60	0.819	1.2
4	60	0.819	1.68
5	15	0.819	1.68
6	15	0.819	1.2
7	15	1.618	1.68
8	15	1.618	1.2

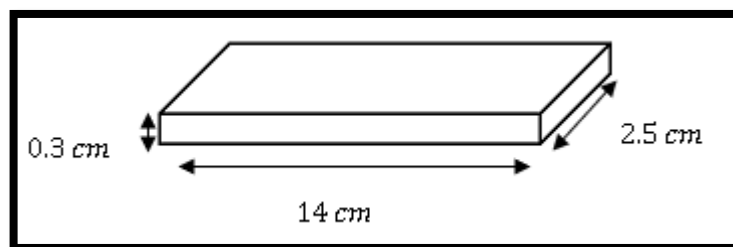
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Puesta en marcha del experimento

- Preparación superficial del material

Se empleo barras rectangulares de aluminio de alta pureza al 99.5 % (Al-1050 composición y propiedades mecánicas ver anexo I) de dimensiones 14 cm * 2.5 cm * 0.3 cm (Figura 20), algunas de las láminas poseen imperfecciones mínimas en su corte ocasionadas por el proveedor.

Figura 20. Dimensiones de las barras rectangulares.



Fuente: Elaboración propia mediante mediciones realizadas.

El aluminio es lijado con el fin de retirar impurezas ayudando así al fijado de la capa anódica.

- Decapado

Se introduce el aluminio en una solución de soda caustica y agua durante 10 minutos (Figura 21) con el fin de retirar cualquier rastro de grasas.

Figura 21. Decapado de aluminio mediante baño de soda caustica.



Fuente: Elaboración propia tomada de la experimentación en el laboratorio de planta piloto

- Neutralizado

Debido a la LEY 1639 DE 2013 capítulo 2 la cual regula la comercialización de sustancias corrosivas no fue posible realizar el neutralizado con ácido nítrico, por lo tanto, se recurrió a un lavado con agua caliente a 50 °c aproximadamente con el fin de eliminar la soda caustica de la superficie del aluminio.

- Anodizado

El proceso de anodizado experimental se llevó acabo en el laboratorio de planta piloto de la universidad autónoma de Bucaramanga en el banco de pruebas electroquímico (Figura 22).

Figura 22. Banco de pruebas electroquímico.

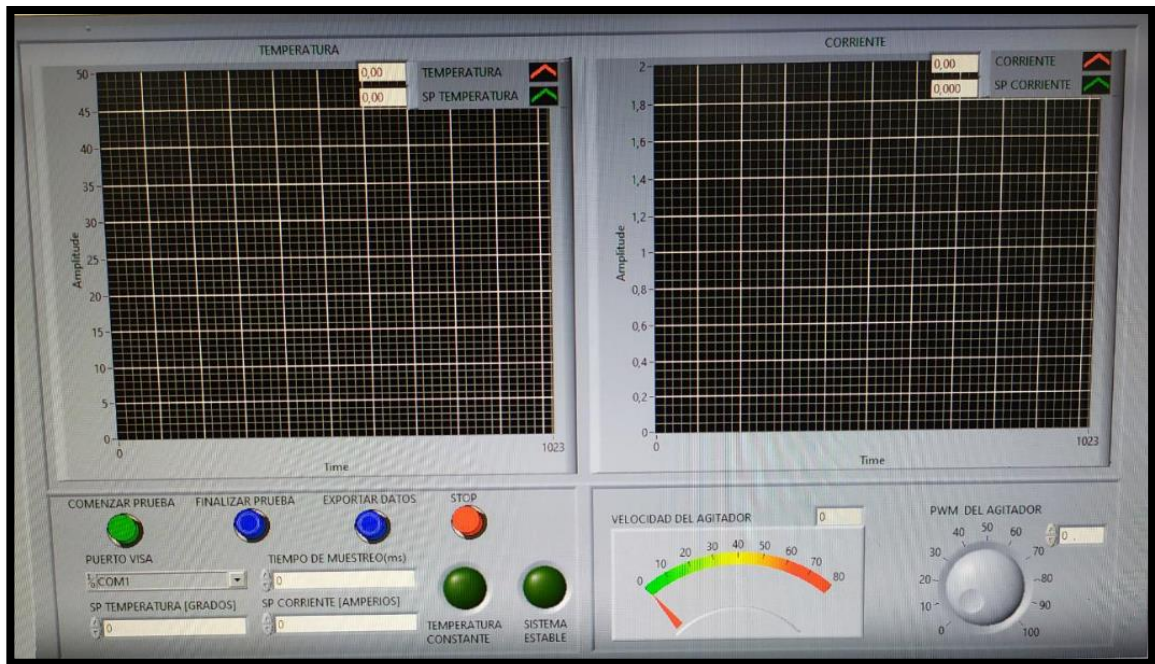


Fuente: Elaboración propia tomada del laboratorio planta piloto UNAB.

Para disminuir el tiempo y costos del proceso experimental se realizaron primero los tratamientos con concentración de electrolito a 1.2 M (1, 3, 6 y 8) y luego se realizaron los tratamientos con concentración de 1.68 M (2, 4, 5 y 7).

Las variables del proceso según los tratamientos son introducidas en el controlador del banco de pruebas (Figura 23), el controlador tiene como objetivo mantener la corriente constante.

Figura 23. Interfaz hombre máquina para controlar las variables del proceso.

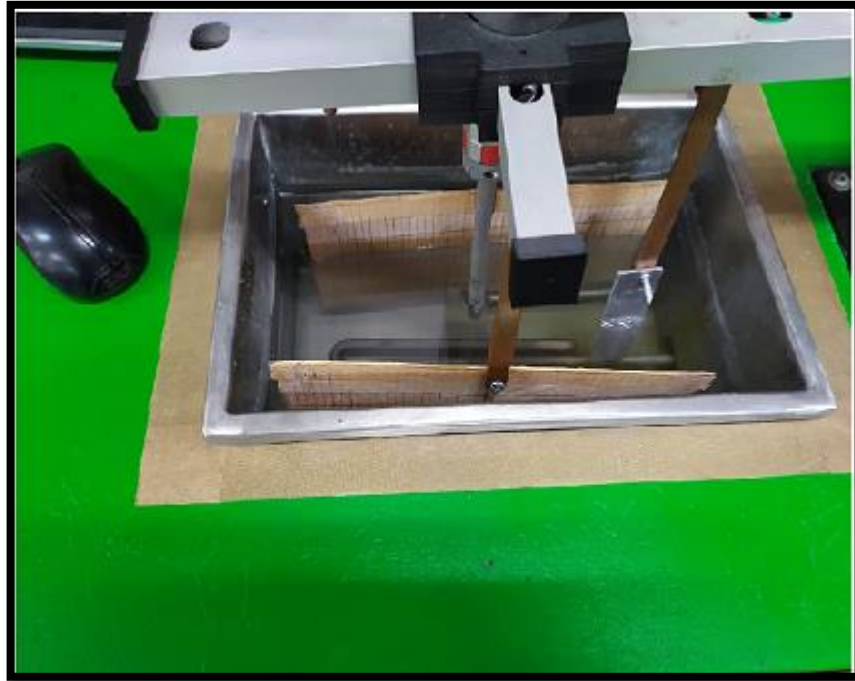


Fuente: Elaboración propia tomada del banco de pruebas electroquímico, Software LabVIEW.

Para este experimento no se utilizó el agitador.

A continuación, se muestra el proceso de anodizado en el banco de pruebas electroquímico (Figura 24).

Figura 24. Proceso de anodizado de aluminio.



Fuente. Elaboración propia tomada del laboratorio de planta piloto UNAB.

El área a anodizar del aluminio para todos los tratamientos es de 0.476 dm^2 por lo tanto para suplir las densidades de corrientes establecidas es necesario aplicar una corriente continua de 0.77 A para el nivel alto y 0.39 A para el nivel bajo de este factor (Figura 25).

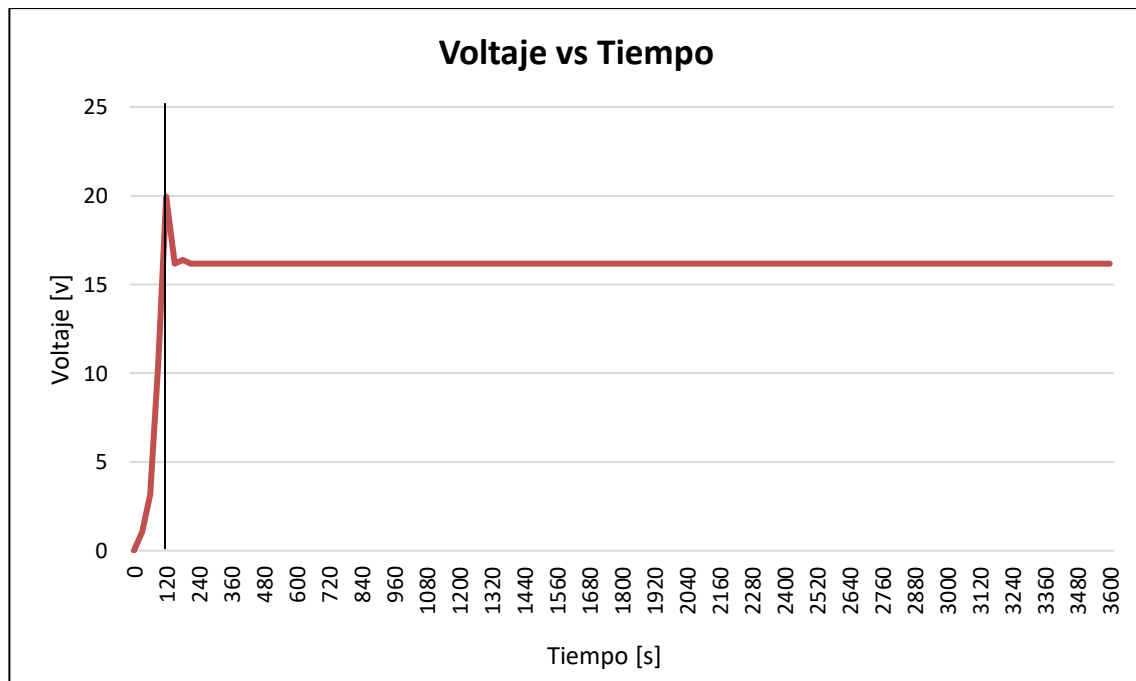
Figura 25. Datos de corriente a) corriente de 0.77 A y b) corriente de 0.39 A .



Fuente: Elaboración propia datos tomados del proceso de anodizado.

Durante el proceso el controlador monitorea los siguientes datos: Tiempo, temperatura del electrolito, voltaje y corriente continua (ver anexo J), los cuales se almacenan con el fin de observar el comportamiento del voltaje durante el tiempo de la prueba (Figura 26).

Figura 26. Curva voltaje-tiempo del primer tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el voltaje tiene un comportamiento típico de un proceso de recubrimiento anódico, el voltaje crece hasta el punto donde la capa de oxido comienza a formarse en la superficie del aluminio, posteriormente el voltaje desciende y se mantiene constante dando lugar al crecimiento de poros microscópicos. El comportamiento del voltaje en los tratamientos restantes se puede observar en el anexo K.

- Sellado

El sellado de cada tratamiento se realizó mediante un baño de agua caliente a $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 min (Figura 27).

Figura 27. Sellado de la capa anódica para mejorar la fijación al aluminio.



Fuente. Elaboración propia tomada del laboratorio de planta piloto UNAB.

4.2.1.3. Análisis de varianza.

- Estimación de espesor

Se utilizaron dos métodos para calcular el espesor:

a) Ley de Faraday de la electrolisis: Establece una relación directamente proporcional entre la masa de una sustancia depositada en el electrodo y la carga transferida a este electrodo [17].

Ecuación 26. Cálculo de espesor mediante la ley de Faraday.

$$m_{c_Al} = \frac{I * T * Pm_{Al}}{F * EO_{Al}}$$

$$mol_{c_Al} = \frac{m_{c_Al}}{Pm_{Al}}$$

Analizando la ecuación 1: reacción de oxidación.

$$mol_{d_Al_2O_3} = \frac{mol_{c_Al}}{2}$$

$$m_{d_Al_2O_3} = mol_{d_Al_2O_3} * Pm_{Al_2O_3}$$

$$V_{d_Al_2O_3} = \frac{m_{d_Al_2O_3}}{\rho_{Al_2O_3}}$$

$$e_F = \frac{V_{d_Al_2O_3}}{A_o}$$

Donde:

- I : Corriente continua utilizada en el proceso [A].
- T : Tiempo de duración del proceso [s].
- Pm_{Al} : Peso molecular del aluminio [gr/mol].
- F : Constante de Faraday 96484.56 [C/mol].
- EO_{Al} : Estado de oxidación del aluminio.
- m_{c_Al} : Masa consumida del aluminio [gr].
- mol_{c_Al} : Moles consumidos de aluminio [mol].
- $mol_{d_Al_2O_3}$: Moles depositados de alúmina sobre la superficie [mol].

- $Pm_{Al_2O_3}$: Peso molecular de la alúmina [gr/mol].
- $m_{d_Al_2O_3}$: Masa depositada de alúmina sobre la superficie [gr].
- $\rho_{Al_2O_3}$: Densidad de la alúmina [gr/cm³].
- $V_{d_Al_2O_3}$: Volumen de depositado de alúmina sobre la superficie [cm³].
- A_o : Área anodizada [cm²].
- e_F : Espesor teórico a partir de la ley de Faraday [cm].

Como se puede observar la ley de Faraday de la electrolisis no tiene en cuenta el efecto de la temperatura, el tipo de electrolito y la concentración de este.

b) Ecuación predictiva del espesor [18]: Ecuación desarrollada a partir de la investigación del comportamiento de las variables del proceso de anodizado de aluminio, estas variables son tiempo de anodizado, densidad de corriente y concentración del electrolito.

Ecuación 27. Cálculo del espesor a partir de ecuación predictiva.



$$e_p = 38.099 + 8.765x_a + 13.61x_b + 7.1569x_c + 2.8825x_a * x_c + 6.5788x_b * x_c$$

Donde:

- x_a , x_b y x_c : Son variables codificadas de -1 siendo el nivel mas bajo en el análisis a 1 siendo el nivel más alto (ver anexo L). Estas variables se codifican a partir de los valores de tiempo de anodizado, densidad de corriente y concentración del electrolito utilizados en el análisis realizado.

Desarrollando las anteriores ecuaciones se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 12).

Tabla 12. Diseño factorial con resultados y evidencias.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
A	+	+	+	+	-	-	-	-
B	+	+	-	-	-	-	+	+
C	-	+	-	+	+	-	+	-
Notación de Yates	ab	abc	a	ac	c	-1	bc	b
Respuesta: e_f [μm]	28.831885	28.831885	14.603163	14.603163	3.6507906	3.6507906	7.2079713	7.2079713
Respuesta: e_p [μm]	36.020381	47.572382	31.424839	37.628251	18.692172	19.659839	28.636303	24.255381
Evidencia: Pieza anodizada								

Fuente. Elaboración propia.

- Análisis estadístico de los factores y la respuesta.

El análisis estadístico se realizó con la ayuda del software Minitab. A continuación, mostraremos los resultados obtenidos. Debido a que el espesor se calculó de manera teórica, se realizaron dos análisis.

a) Análisis estadístico a partir de los resultados obtenidos mediante Ley de Faraday de la electrolisis.

Figura 28. ANOVA realizado con valores obtenidos mediante la Ley de Faraday de la electrolisis.

Regresión factorial: Y: espesor[μm] vs. A: Tiempo; B: ρ ... oncentración					
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1364.50	194.928	429.97	0.000
Lineal	3	1262.92	420.972	928.57	0.000
A: Tiempo	1	946.58	946.577	2087.94	0.000
B: ρ Corriente	1	316.34	316.338	697.77	0.000
C: Concentración	1	0.00	0.000	0.00	1.000
Interacciones de 2 términos	3	101.58	33.860	74.69	0.000
A: Tiempo*B: ρ Corriente	1	101.58	101.580	224.06	0.000
A: Tiempo*C: Concentración	1	0.00	0.000	0.00	1.000
B: ρ Corriente*C: Concentración	1	0.00	0.000	0.00	1.000
Interacciones de 3 términos	1	0.00	0.000	0.00	1.000
A: Tiempo*B: ρ Corriente*C: Concentración	1	0.00	0.000	0.00	1.000
Error	8	3.63	0.453		
Total	15	1368.12			

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

La anterior figura nos da un indicio de cuáles son los factores más significantes en la respuesta (espesor). Esto lo podemos observar si analizamos la distribución F (valor F) de cada factor y el P-Value (valor p).

Para poder analizar el valor F es necesario establecer el valor F de Fisher el cual se encuentra codificado en tablas (ver anexo M). Este valor relaciona los grados de libertad de los factores o sus interacciones con los grados de libertad del error a un determinado nivel de significancia (0.05). Si $Valor F > F_{fisher}$ el factor o la interacción es significativa, para este experimento el valor $F_{fisher} = 5.318$ para cada factor y sus interacciones por lo tanto los factores Tiempo (A), densidad de corriente (B) y su interacción (AB) son significativos.

Si el valor p es menor al nivel de significancia, el factor o la interacción es significativo, para este experimento el nivel de significancia establecido fue de 0.05 por lo tanto esto justifica la significancia de los factores y de la interacción anteriormente nombrada.

A continuación, establecemos los coeficientes codificados (figura 29).

Figura 29. Efectos y coeficientes codificados (contrastes) (Faraday).

Coeficientes codificados		
Término	Efecto	Coef
Constante		13.573
A: Tiempo	15.383	7.692
B: p Corriente	8.893	4.446
C: Concentración	0.000	0.000
A: Tiempo*B: p Corriente	5.039	2.520
A: Tiempo*C: Concentración	0.000	0.000
B: p Corriente*C: Concentración	-0.000	-0.000
A: Tiempo*B: p Corriente*C: Concentración	-0.000	-0.000

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

Observando el efecto de cada factor y sus interacciones también podemos deducir cuales poseen más significancia en el espesor. El efecto el cual su valor se aleje más del cero ya sea negativo o positivo será significativo para la respuesta, en caso de ser negativo significa que el factor o interacción produce un efecto negativo en

la respuesta y si es positivo significa que el factor o interacción produce un efecto positivo en la respuesta.

Con los contrastes podemos establecer una ecuación de regresión la cual modela la respuesta del espesor entre los rangos establecidos en la experimentación.

Ecuación 28. Ecuación de regresión para el espesor por Faraday.

$$e_f [\mu m] = 13.573 + 7.692x_a + 4.446x_b + 2.520x_a * x_b$$

Donde:

- x_a y x_b : Son variables codificadas de -1 siendo el nivel mas bajo en el análisis a 1 siendo el nivel más alto en el análisis (ver anexo L). Estas variables se codifican teniendo en cuenta los valores establecidos en cada factor y su nivel (ver tabla 10).

Según el coeficiente R² la ecuación explica en un 99.73% el comportamiento del anodizado dado esos factores y sus niveles (figura 30).

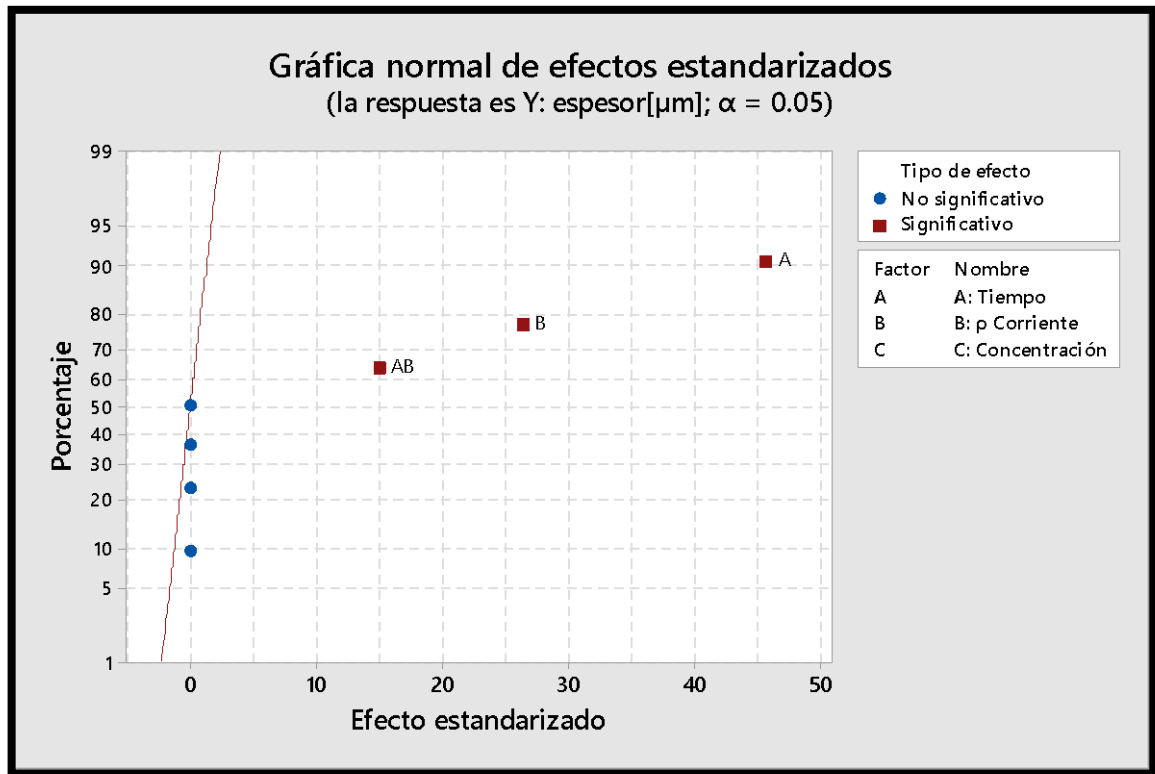
Figura 30. Resumen del modelo (Faraday).

Resumen del modelo			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.673316	99.73%	99.50%	98.94%

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

En las siguientes graficas se muestra el comportamiento de los efectos de cada factor y sus interacciones.

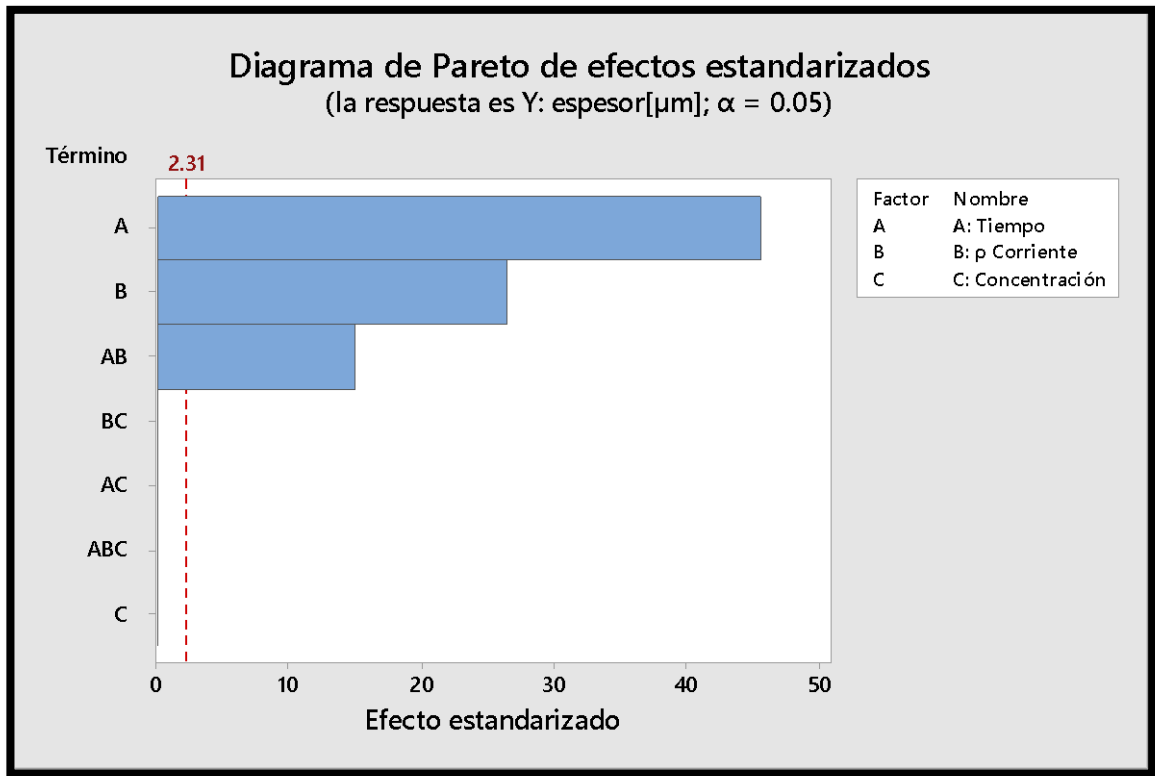
Figura 31. Grafica de los efectos normales estandarizados (Faraday).



Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

En la gráfica anterior podemos observar que el tiempo (A), la densidad de corriente (B) y su interacción (AB) son factores significativos para la respuesta.

Figura 32. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Faraday).



Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

Los efectos son significativos si sobrepasan el margen de error de 2.31 el cual se establece dado el nivel de significancia y los grados de libertad del error.

b) Análisis estadístico a partir de los resultados obtenidos mediante la ecuación predictiva del espesor.

Figura 33. ANOVA realizado con valores obtenidos mediante la ecuación predictiva del espesor.

Regresión factorial: Y: espesor[μm] vs. A: Tiempo; B: ρ ... oncentración

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1233.72	176.246	285.54	0.000
Lineal	3	1162.46	387.487	627.78	0.000
A: Tiempo	1	885.14	885.139	1434.04	0.000
B: ρ Corriente	1	193.49	193.485	313.47	0.000
C: Concentración	1	83.84	83.839	135.83	0.000
Interacciones de 2 términos	3	70.15	23.384	37.89	0.000
A: Tiempo*B: ρ Corriente	1	0.01	0.014	0.02	0.884
A: Tiempo*C: Concentración	1	42.04	42.038	68.11	0.000
B: ρ Corriente*C: Concentración	1	28.10	28.099	45.52	0.000
Interacciones de 3 términos	1	1.11	1.106	1.79	0.218
A: Tiempo*B: ρ Corriente*C: Concentración	1	1.11	1.106	1.79	0.218
Error	8	4.94	0.617		
Total	15	1238.66			

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

Analizando la anterior figura podemos observar que los factores y las interacciones que posean un valor F por encima de 5.318 son relevantes y afectan la respuesta (espesor), también observamos que el valor P de estos es menor al nivel de significancia establecido de 0.05.

A continuación, establecemos los coeficientes codificados (contrastes) (figura 34).

Figura 34. Efectos y coeficientes codificados (contrastes) (Ecuación predictiva).

Coeficientes codificados		
Término	Efecto	Coef
Constante		30.505
A: Tiempo	14.876	7.438
B: ρ Corriente	6.955	3.477
C: Concentración	4.578	2.289
A: Tiempo*B: ρ Corriente	-0.059	-0.030
A: Tiempo*C: Concentración	3.242	1.621
B: ρ Corriente*C: Concentración	2.650	1.325
A: Tiempo*B: ρ Corriente*C: Concentración	0.526	0.263

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

Observando los efectos, podemos deducir que dos interacciones de los factores no son significantes para la respuesta. Los coeficientes codificados o contrastes nos ayudan a establecer la ecuación de regresión

Ecuación 29: Ecuación de regresión para espesor por método predictivo.

$$e_p [\mu m] = 30.505 + 7.438x_a + 3.477x_b + 2.289x_c - 0.03x_a * x_b + 1.621x_a * x_c + 1.325x_b * x_c + 0.263x_a * x_b * x_c$$

Donde:

- x_a, x_b, x_c, x_{ac} y x_{bc} : Son variables codificadas de -1 siendo el nivel más bajo en el análisis a 1 siendo el nivel más alto en el análisis (ver Anexo L). Estas variables se codifican teniendo en cuenta los valores establecidos en cada factor y su nivel (ver tabla 10)

Según el coeficiente R^2 la ecuación explica en un 99.6% el comportamiento del anodizado dado esos factores y sus niveles (figura 35).

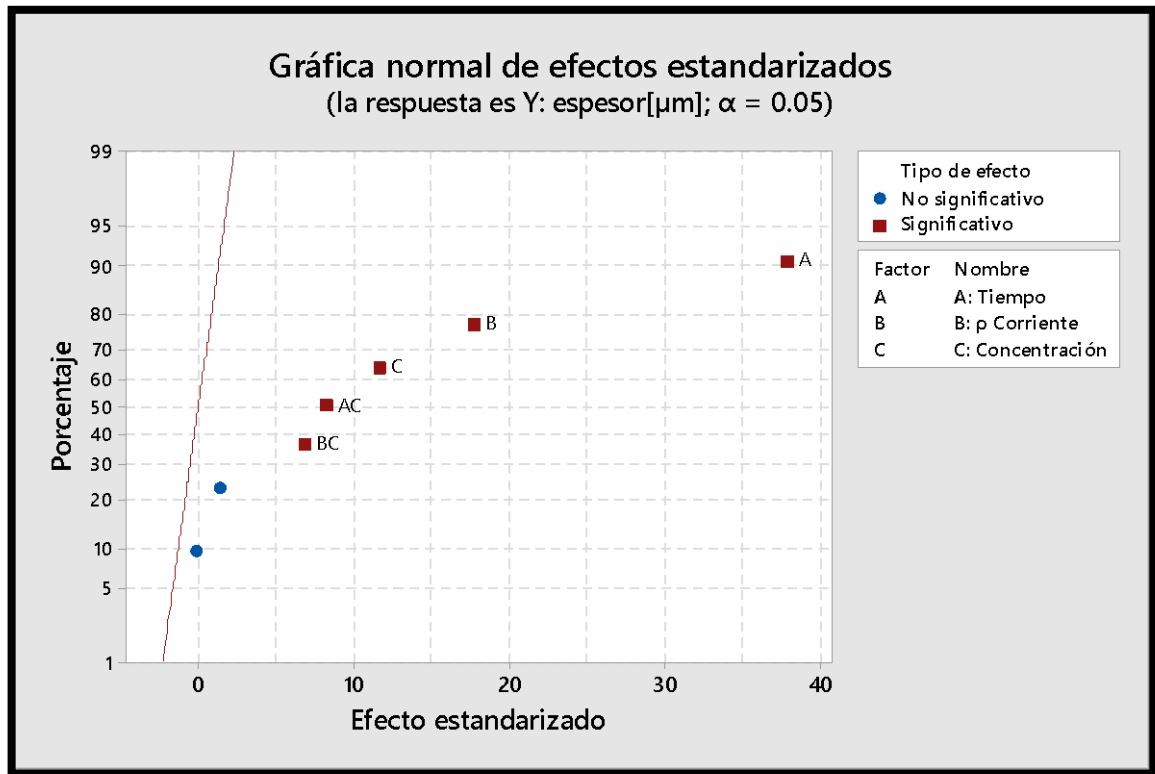
Figura 35. Resumen del modelo (Ecuación predictiva).

Resumen del modelo			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.785641	99.60%	99.25%	98.41%

Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

En las siguientes graficas se muestra el comportamiento de los efectos de cada factor y sus interacciones.

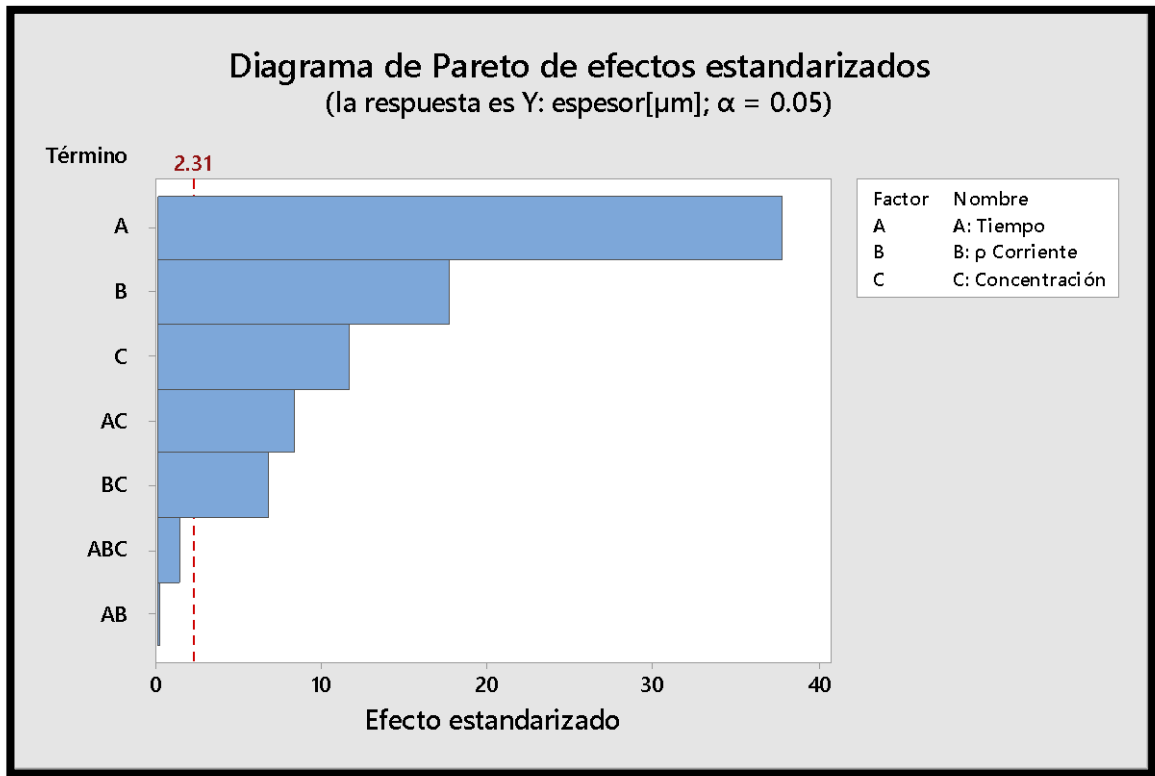
Figura 36. Grafica de los efectos normales estandarizados (Ecuación predictiva).



Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

En la gráfica podemos observar que los factores A, B y C y las interacciones AC y BC son significativas y afectan a la respuesta

Figura 37. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (Ecuación predictiva).



Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

Esta grafica corrobora que los factores y las interacciones anteriormente mencionadas son significativas debido a que sobrepasan el margen de error de 2.31.

4.2.2. Experimentación a partir de datos industriales de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.

Las siguientes pruebas se llevaron a cabo teniendo como base los datos de densidad de corriente, tipo de electrolito y concentración del proceso de anodizado de la empresa (ver tabla 5).

La preparación del material, el decapado, el neutralizado y el sellado se realizaron de la misma manera que el experimento anteriormente realizado en planta piloto.

El área a anodizar del aluminio es de 0.5125 dm^2 por lo tanto para suplir la densidad de corriente establecida en la empresa es necesario aplicar una corriente continua de 0.8237 A (Tabla 13).

Tabla 13. Corriente de trabajo establecida para la prueba de laboratorio.

Área anodizada (empresa) [dm^2]	Corriente de trabajo (empresa) [A]	Densidad de corriente de trabajo (Empresa) [A/dm^2]	Área prueba UNAB [m^2]	Corriente establecida [A]
94	151	1.606382979	0.5125	0.823271277

Fuente: Elaboración propia

A continuación, mostraremos evidencia de la corriente suministrada al proceso.

Figura 38. Datos de corrientes.













Fuente: Elaboración propia datos tomados del proceso de anodizado.

En el anexo N se muestran Valores monitoreados de tiempo, temperatura del electrolito, voltaje y corriente continua del proceso de anodizado realizado con las variables de operación de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*, a partir de estos valores podemos observar el comportamiento del voltaje a medida que transcurre el tiempo de la prueba (ver anexo O)

El objetivo de esta fase es establecer el tiempo adecuado en el cual el espesor de la capa anódica es el indicado para su uso en aplicaciones de herrajería (ver anexo B) 15 μm y gracias a esto poder establecer el consumo de energía adecuado en el proceso, por eso se tomaron muestras de anodizado a diferente tiempo.

Para este caso solamente se realizó los cálculos por medio de la ley de Faraday de la electrolisis debido a que la ecuación nos ayuda a relacionar el tiempo con el espesor producido en la superficie del aluminio, en la tabla 14 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 14. Pruebas de anodizado a diferente tiempo de proceso.

Prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Respuesta: e_f [μm]	2.5688812 6	5.137762 52	7.7066437 7	10.275525	12.844406 3	15.413287 5	17.982168 8	20.551050 1	23.119931 3	25.688812 58
Evidencia: Pieza anodizada										

Fuente. Elaboración propia.

- Análisis de regresión.

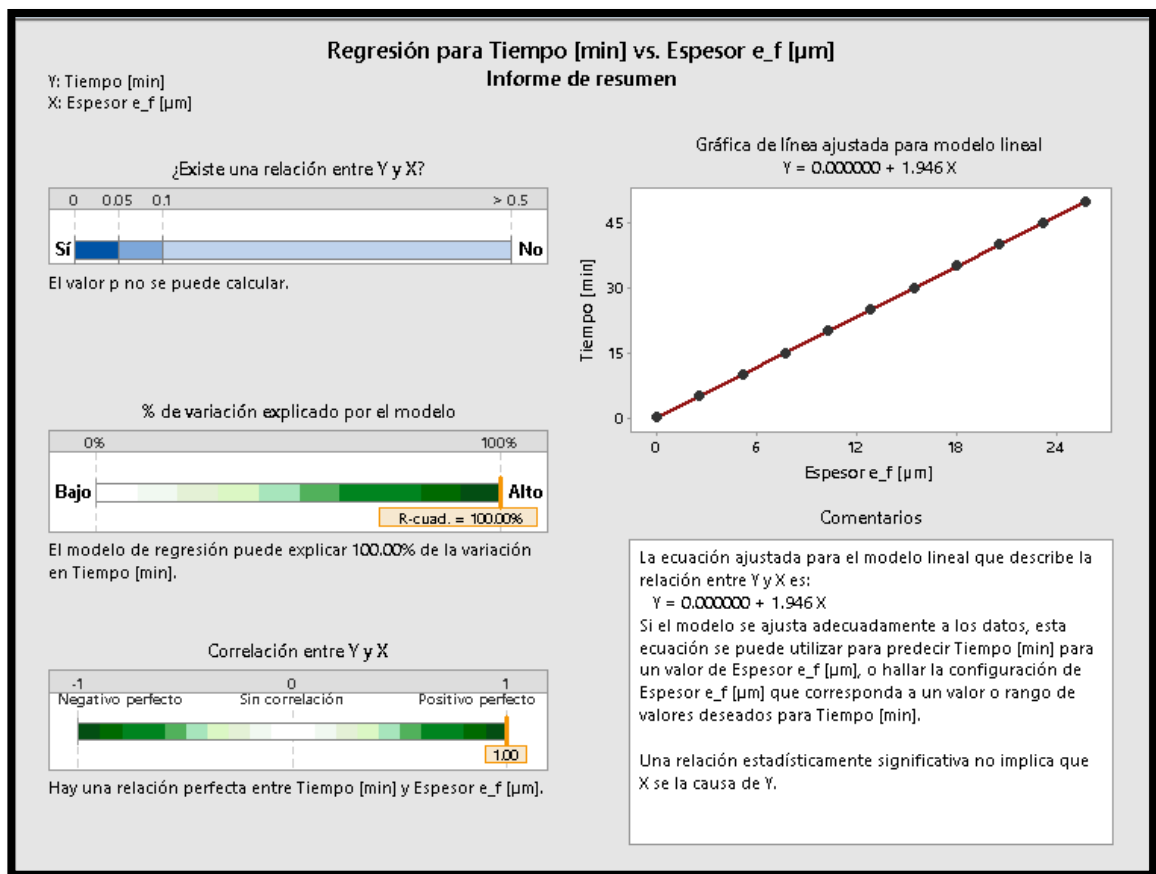
Ecuación 30. Regresión del espesor.

$$T = 1.946e_f$$

Donde:

- e_f : Espesor teorico en [μm].

Figura 39. Informe ecuación de regresión y porcentaje de predicción del modelo.



Fuente: Elaboración propia tomada de Minitab.

A partir de la ecuación podemos establecer el tiempo ideal del proceso. Dado el espesor establecido por la empresa de 15 μm se necesita 29.19 min. Con una

potencia promedio de 1925.3 W (ver Anexo G) el consumo promedio que conlleva formar la capa de alúmina sería 936.65845 Wh.

*Debido a la situación actual de confinamiento obligatorio en Colombia y al aislamiento preventivo obligatorio decretado por el presidente de la república Ivan Duque Marquez no fue posible enviar las muestras anodizadas a los laboratorios capacitados para realizar el **Análisis microscópico de barrido (SEM)**, ya que los laboratorios solamente están disponibles para personal interno y estudiantado de la institución a la cual pertenece, por lo tanto, no fue posible establecer el espesor de la capa de alúmina de manera experimental. Con el fin de cumplir con todos los objetivos establecidos en el actual proyecto, la respuesta del experimento (espesor) se calculó de manera teórica.*

4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIA ALTERNATIVO.

Se plantearon tres diseños de sistema fotovoltaico:

- Sistema GRID TIED (conectado a la red).
- Sistema aislado con baterías.
- Sistema híbrido el cual cuenta con un inversor cargador.

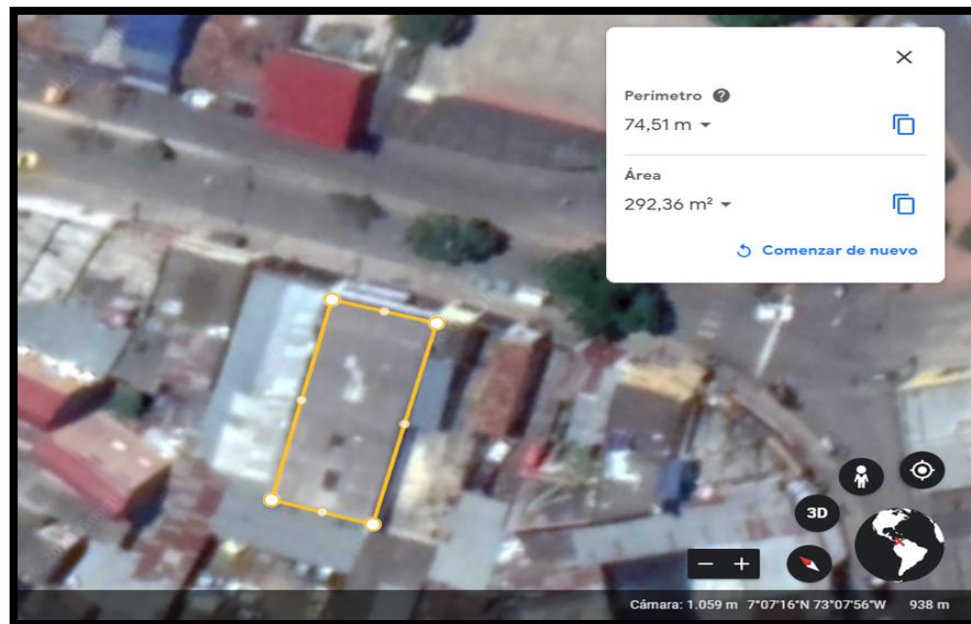
A cada sistema se le realizó el análisis técnico con el fin de conocer el número de componentes principales, los cuales son: baterías, inversor, paneles solares y reguladores de carga, también se realizó un filtro teniendo en cuenta consideraciones económicas y técnicas que presente cada sistema, esto con el fin de seleccionar el sistema viable y realizar un diseño más completo de este. Para los 3 sistemas se tuvo en cuenta las mismas condiciones ambientales del sitio. Las condiciones de potencia a instalar dependen de la demanda del proceso de anodizado de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* con el fin de reducir los costos de energía eléctrica que conlleva dicho proceso.

4.3.1. Potencial Solar de la instalación

4.3.1.1. Área disponible

El área disponible para la instalación de los paneles solares es el área del techo de la empresa, dicha área se calculó gracias a la herramienta Google Earth, a continuación, se muestra una imagen con los datos obtenidos de área y perímetro del techo de la empresa.

Figura 40. Área del techo empresa *Electroquímica Recubrimientos*.



Fuente: Imagen tomada de la aplicación online Google Earth.[19]

En la anterior imagen se puede observar que el área disponible para la instalación de los paneles es de 292.36 m² con un perímetro de 74.51 m.

4.3.1.2. Horas de sol pico e irradiancia promedio

El número de horas de sol pico e irradiancia promedio se obtuvo gracias a la base de datos Photovoltaic Geographical information System (PVGIS) [20], las coordenadas de la empresa son: Latitud: 7.12°N y longitud: -73.13°W ubicada en la

ciudad de Bucaramanga. A continuación, se muestra el promedio de irradiancia y las horas de sol pico.

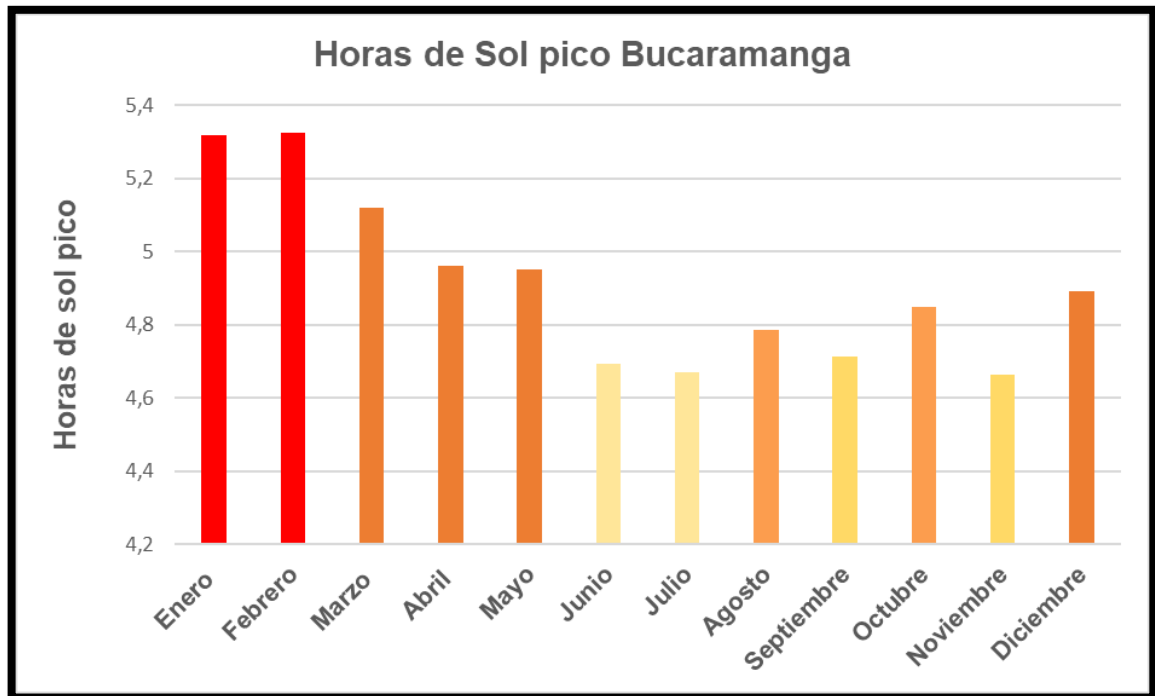
Tabla 15. Irradiancia promedio y horas pico promedio.

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0,46	10,89	19,28	17,55	12,47	10,24	13,51	16,09	12,19	1,01
7:00	116,22	101,45	112,33	146,48	163,29	170,73	163,59	166,5	174,83	167,04	162,16	143,62
8:00	332,29	312,72	319,72	342,96	366,74	366,64	371,23	381,47	387,86	377,95	373,77	352,28
9:00	544,34	528,04	524,08	539,5	556,58	548,65	549,18	579,45	595,03	587,47	560,03	557,57
10:00	711,6	708,35	681,53	662,2	681,41	645,09	635,08	683,98	684,96	701,01	672,87	695,55
11:00	792,16	779,06	737,73	692,42	694,46	657,46	643,54	658,88	673,37	728,06	698,53	738,13
12:00	757,61	753,03	736,72	682,04	641,01	607,66	593,96	623,01	603,33	651,94	650,49	682,06
13:00	693,58	702,2	658,34	629,13	612,74	527,92	531,08	534,92	524,93	577,36	574,63	597,81
14:00	587,11	600,21	558,38	524,7	508,26	455,98	457,48	444,06	446,77	465,64	447,88	489,81
15:00	407,89	448,75	409,14	382,79	366,1	349,09	344,63	355,82	324,62	327,42	303	343,08
16:00	255,36	273,17	260,94	240,12	233,97	223,16	236,31	232,51	194,02	187,32	156,77	210,48
17:00	118,57	116,24	120,67	109,38	108,38	124,09	130,24	116,14	91,07	62,81	51,74	78,76
18:00	0	0	0	0	0	0,52	1,06	0,3	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5316,73	5323,22	5120	4962,6	4952,2	4694,54	4669,85	4787,3	4714,3	4850,11	4664,06	4890,16
Hsp	5,31673	5,32322	5,12	4,9626	4,9522	4,69454	4,66985	4,7873	4,7143	4,85011	4,66406	4,89016

Fuente: Elaboración propia datos tomados de la base de datos (PVGIS).[20]

A partir de los datos obtenidos se realizó un gráfico que permite observar las horas de sol pico de cada mes (Figura 41).

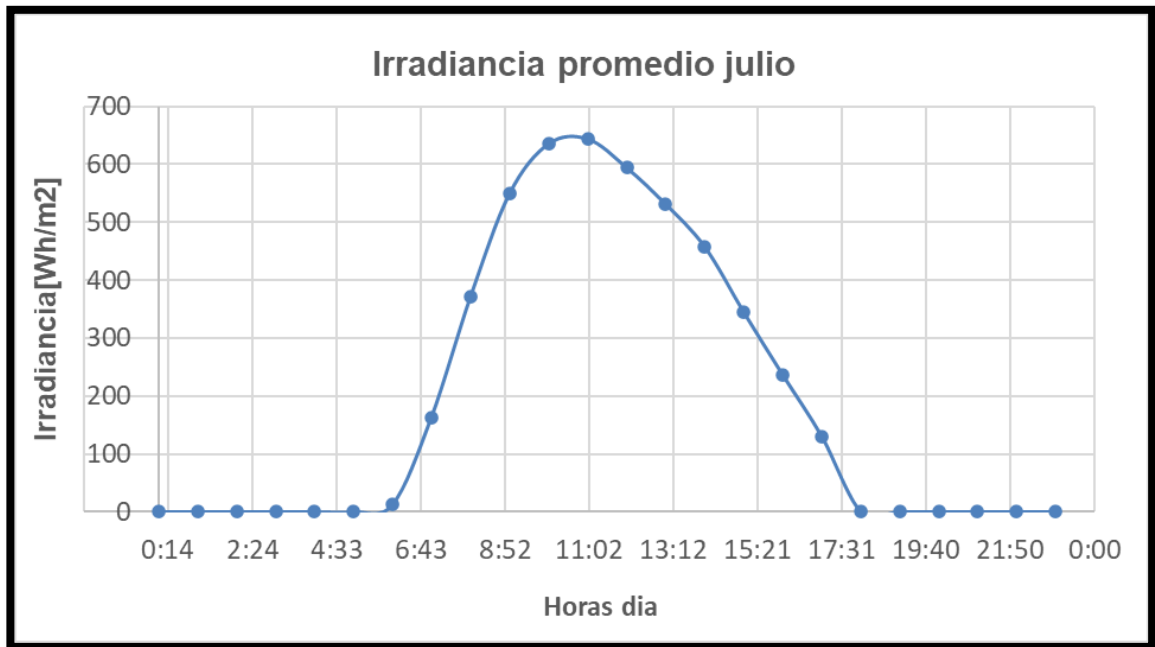
Figura 41. Horas de sol pico para cada mes.



Fuente: Elaboración propia datos tomados de la base de datos (PVGIS).[20]

De la anterior figura se observa que el peor mes es julio con un promedio de horas de sol pico de (4.66 h) y el mejor mes febrero con (5.33 h). El mes seleccionado para todos los cálculos de diseños del sistema es Julio ya que tiene el peor número de horas de sol pico. A continuación, se muestra la curva de irradiación promedio del mes de julio (Figura 42).

Figura 42. Irradiancia promedio mes de Julio.



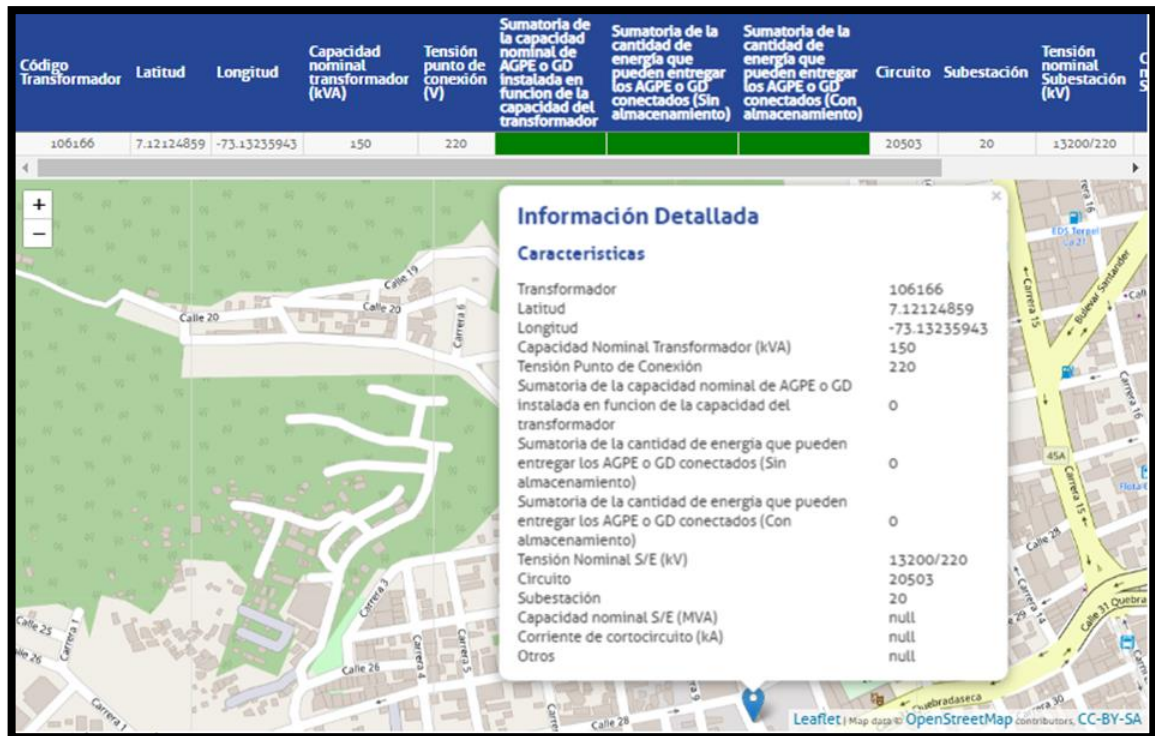
Fuente: Elaboración propia datos tomados de la base de datos (PVGIS).[20]

En la anterior figura se observa que el pico de irradiancia promedio para el mes de julio se encuentra entre las 11:00 am. Con los datos de potencial solar se procede a dimensionar los 3 sistemas planteados.

4.3.2. Sistema GRID TIED

Para instalar un sistema GRID TIED es necesario analizar si se puede conectar a la red eléctrica, esto depende del transformador con el que se cuente en la zona, para este caso se consultó en la página Web autogeneración ESSA con el número del transformador que aparece en la factura de energía eléctrica. Si el transformador aparece en verde se puede instalar el 15% de la capacidad del transformador. A continuación, se muestra los datos obtenidos del transformador.

Figura 43. Características del transformador al cual está conectada la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.



Fuente: Pagina web Autogeneración ESSA. [21]

Con la anterior imagen se confirma que se puede instalar un 15% de la capacidad del transformador la cual es de 150 Kva es decir se puede instalar hasta 22.5 Kva.

Para el sistema GRID TIED se realizó una simulación en el software Pvsyst (ver anexo P), se tuvo en cuenta para el diseño de esta simulación que los paneles solares e inversor solar fueran comercialmente vendidos en Colombia.

Para este sistema la capacidad a instalar se obtuvo de la potencia máxima medida en la celda electroquímica del proceso de anodizado, (ver anexo G) el valor máximo fue de 2459.4 W y por criterios de diseño en la simulación se trabajó con 2.5 kW y con una duración de 4 horas al día para criterios de energía necesaria a producir por día.

El número de componentes principales del sistema arrojados por la simulación se muestra a continuación:

- Paneles solares:

Tabla 16. Numero de paneles sistema GRID TIED.

Fabricante	Jinkosolar
Modelo	JKM 370M-72
Pnom unitaria	370 [W]
Paneles paralelos	1 cadena
Paneles Serie	7 módulos
Total paneles	7

Fuente: Elaboración propia.

Las características detalladas de este panel y el precio comercial en Colombia se encuentran en el anexo Q.

- Inversor.

Tabla 17. Inversor sistema GRID TIED.

Fabricante	Growatt New ENERGY
Modelo	Growatt 2500 Hf
Pnom Total	2.5 kWac
Voltaje funcionamiento	120-600 v

Fuente: Elaboración propia.

Las características detalladas de este inversor y el precio comercial en Colombia se encuentran en el anexo R.

Los resultados de energía generada entregados por la simulación se muestran a continuación.

Tabla 18. Datos resultados de la simulación sistema GRID TIED.

Energía producida al año	4010 [kWh/año]
Performance ratio.	82.61%
Área ocupada paneles	13.6 m ²
Potencia instalada	2590 W

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Sistema Aislado con baterías

Para este sistema se trabajó con la potencia máxima medida después del rectificador de corriente (ver anexo H) de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*. La potencia directa máxima medida fue de 2078.4 W por criterios de diseño se trabajó con 2200 W de potencia a instalar, A continuación, se muestra una tabla con la característica de potencia teórica estimada por el sistema.

Tabla 19. Potencia teórica del sistema Aislado.

Descripción	Número	P[W]	Horas / día	Energía diaria requerida [Wh]
Celda electroquímica	1	2200	4	8800

Fuente: Elaboración propia

En los sistemas aislados con acumulación es necesario calcular y determinar el rendimiento global de la instalación y en función de este calcular la potencia requerida con el fin de estimar pérdidas de energía por los componentes de la instalación [22].

El coeficiente de rendimiento de la instalación se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 31. Cáculo de coeficiente de rendimiento de la instalación fotovoltaica con acumulación. [22]

$$R = (1 - Kb - Kc - Kv) * (1 - \frac{ka * N}{pd})$$

Los factores de la ecuación son los siguientes:

Tabla 20. Factores perdidos por acumulación.

Kb	Pérdidas en el proceso de acumulación
0.05	Acumulados nuevos, sin descargas intensas
0.1	Acumulados viejos, descargas intensas, temperaturas bajas

Fuente: Elaboración propia tomado de [22].

Tabla 21. Factores perdidos por inversor.

Kc	Pérdidas por el rendimiento del inversor
0	No hay inversor en la instalación
0.05	Rendimiento inversor 95%
0.1	Rendimiento inversor 90%
0.15	Rendimiento inversor 85%
0.2	Rendimiento inversor < 85%

Fuente: Elaboración propia tomado de [22].

Tabla 22. Factores perdidos por auto descarga de la batería.

Ka	Auto descarga de la batería
-----------	------------------------------------

0.002	Baterías de baja auto descarga, sin mantenimiento
0.005	Baterías estacionarias de energía solar
0.012	Baterías de alta auto descarga

Fuente: Elaboración propia tomado de [22].

Tabla 23. Factores perdidos por controlador de carga.

Kr	Pérdidas en el controlador de carga
0.1	Controlador de carga eficiente
0.15	Controlador de carga antiguo, poco eficiente

Fuente: Elaboración propia tomado de [22]

Tabla 24. Factores profundidad de descarga.

Pd	Profundidad de descarga máxima admisible
0.9	Batería descargada hasta el 90%
0.8	Batería descargada hasta el 80%
0.7	Batería descargada hasta el 70%
0.6	Batería descargada hasta el 60%
0.5	Batería descargada hasta el 50%
0.4	Batería descargada hasta el 40%
0.3	Batería descargada hasta el 30%

Fuente: Elaboración propia tomado de [22].

Tabla 25. Factores por pérdidas no consideradas.

Kv	Otras pérdidas no consideradas
0.15	Si no se tiene en cuenta pérdidas en cableado y equipos
0.05	Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas en equipos

Fuente: Elaboración propia tomado de [22].

Donde:

- N : número de días de autonomía.

A partir de la ecuación 33 se calculó el rendimiento de la instalación.

Tabla 26. Factor de rendimiento sistema aislado.

Kb	0.05
Ka	0.012
Kc	0
Kr	0.1
Kv	0.15
Pd	0.8
N	1.5
R	0.6843

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento de la instalación es del 68.43% lo cual significa que en estos sistemas existen pérdidas considerables. A partir del factor de rendimiento se calcula la energía requerida con la siguiente ecuación.

Ecuación 32. Energía requerida a producir. [22].

$$E = \frac{Et}{R}.$$

Donde:

- E : energía requerida
- Et : Energía teórica
- R : Rendimiento de la instalación.

Ecuación 33. Energía requerida diaria a producir.

Energía teórica	8800	w/hdía
Rendimiento global	0.68	
Energía diaria a producir	12941.1765	w/hdía

Fuente: Elaboración propia

A partir de la energía requerida se procede a calcular los componentes principales del sistema.

- Paneles solares.

Se selecciono el mismo panel del sistema conectado a la red el cual es un panel de la marca Jinkosolar, Las especificaciones se muestran a continuación.

Tabla 27. Características panel solar.

Características del panel Solar		
pmax	370	W
Vnom	39.9	V
Vpm	39.9	V
Ipm	9.28	A
Voc	48.5	V
Isc	9.61	A

Fuente: Elaboración propia.

Con las especificaciones del panel solar se calcula el número de paneles en serie y paneles en paralelo.

Ecuación 34. Paneles en paralelo [22].

$$Paneles\ paralelo = \frac{\frac{Energia\ requerida}{Vnominal\ panel}}{Energia\ producida\ por\ panel}$$

Ecuación 35. Energía producida por panel [22].

$$Energia\ producida\ por\ panel = Ipm(panel) * Horas\ sol\ pico.$$

Ecuación 36. Paneles en serie [22].

$$Paneles\ serie = \frac{Voltaje\ sistema}{Voltaje\ panel}$$

Ecuación 37. Numero de paneles. [22].

$$\text{Numero de paneles} = \text{Paneles serie} * \text{Paneles paralelo}$$

A continuación, se muestra una tabla con los cálculos realizados.

Tabla 28. Numero de paneles para sistema aislado.

Hsp	4.6698	
Ipm	9.2	A
Energía requerida	12941.1765	Wh/dia
Energía por panel	43.3362	Ah/dia
Voltaje sistema	39.9	[V]
Voltaje panel	39.9	[V]
Paneles serie	1	1
paneles paralelos	7.48427879	8
Total paneles		8

Fuente: Elaboración propia.

Para la instalación aislada se necesitan 8 paneles. En comparación con el sistema conectado a red se necesitan más paneles debido a que existen más pérdidas en este sistema.

- Regulador de carga.

Para la selección del regulador de carga se debe seleccionar partir de la corriente entregada por los paneles y aplicando un factor de seguridad del 15%. La corriente entregada por los paneles es de 9.28 A (Ipm) por el número de paneles en paralelo (8), este valor al aplicarle el factor de seguridad es de 84.64 A, se debe seleccionar un regulador que soporte esa corriente. Comercialmente se seleccionó el siguiente regulador de carga.

Tabla 29. Especificaciones regulador de carga.

Fabricante	Vitron Energy
Modelo	Smart Charge solar controller Mppt 150/85
voltaje batería	12/24/48 v
Corriente de carga	85Amp
potencia nominal sistema F.v	3600 W

Fuente: Elaboración propia.

Las especificaciones más detalladas de este regulador se encuentran en anexo S al igual que su precio comercial en Colombia.

- Baterías.

Para el cálculo del número de baterías es importante conocer la corriente del sistema, debido a que las baterías son las encargadas de suministrar dicha corriente ya que comercialmente no se encuentra un regulador de carga que suministre la corriente máxima medida (ver anexo T) del sistema que es de 183.3 A.

Para este trabajo de grado se seleccionó una batería de gel de 12 V y 200 Ah, es necesario consultar la curva de descarga en relación con el tiempo para determinar cuántas baterías se deben instalar.


A continuación, se muestra la relación de descarga con el tiempo de la batería seleccionada.

Figura 44. Relación de descarga de la batería seleccionada para el sistema aislado.

Rated Capacity	200.0 AH/10.0A (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	186.0 AH/18.6A (10hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	160.0 AH/32.0A (5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	139.2 AH/46.4A (3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	110.0 AH/110.0A (1hr, 1.67V/cell, 25°C/77°F)
Max. Discharge Current	1800A (5s)
Internal Resistance	Approx 3.24mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -20~55°C (-4~131°F) Charge : 0~40°C (32~104°F) Storage : -20~50°C (-4~122°F)
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 50.0A. Voltage 14.4V~15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V~13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Self Discharge	Leoch LPG series batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

Applications

- ◆ Telecommunications
- ◆ Solar system
- ◆ Wind power system
- ◆ Wheelchair
- ◆ Floor cleaning machines
- ◆ Golf trolley
- ◆ Boats



Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)														
F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	169.2	132.8	101.3	84.8	53.8	41.0	34.0	29.3	25.3	22.4	20.2	18.5	17.5	9.60
1.80V/cell	193.8	148.4	111.7	93.6	58.2	43.9	36.0	30.8	26.6	23.5	21.2	19.4	18.2	10.0
1.75V/cell	217.8	163.2	120.8	100.2	61.7	46.4	37.7	32.0	27.5	24.3	21.9	20.0	18.6	10.2

Fuente: Sun Colombia batería 12v 200Ah [23].

En la anterior imagen se muestra que la batería entrega 193.8 A durante solo 20 minutos, para suplir las necesidades del sistema se deben poner 3 baterías en paralelo que garanticen la corriente del sistema durante 1 hora.

El proceso de anodizado se realiza en promedio durante 4h al día, y para que sea un sistema confiable se debe diseñar con un día y medio de autonomía lo que equivale a 6 horas de trabajo. El número de baterías total se calculó de la siguiente forma [22].

Ecuación 38. Cálculo de baterías.

$$N^{\circ} \text{ de baterías} = \text{banco de 3 baterías en paralelo} * \#b \text{ serie} * \#b \text{ paralelo}$$

El número de baterías en serie y paralelo se calculó de la siguiente forma.

Ecuación 39. Cálculo de baterías paralelo.

$$\#bateria\ paralelo = \frac{capacidad\ acumulacion\ bateria}{Corriente\ nominal\ de\ la\ bateria.}$$

Ecuación 40. Cálculo de baterías serie.

$$\#bateria\ serie = \frac{voltaje\ sistema}{voltaje\ bateria.}$$

Ecuación 41. Capacidad de acumulación batería.

$$Capacidad\ de\ acumulacion = \frac{\frac{energia\ teorica\ sistema * dias\ autonomia}{voltaje\ sistema}}{Profundidad\ de\ descarga\ bateria}$$

A continuación, se muestra una tabla con los resultados del cálculo realizado de número de baterías.

Tabla 30. Numero de baterías sistema aislado.

Energía requerida		
Energía teórica	8800	W
Días de autonomía	1.5	días
Profundidad de descarga	0.8	
Datos de la batería		
Capacidad Nominal	200	A
Voltaje Nominal	12	V
Capacidad Acumulación Batería	1375	A/h
Calculo número de baterías.		
Numero de baterías	7	
baterías serie	1	1
batería paralelo	6.875	7
Numero de baterías garantizar la corriente	3	
Total número de baterías.	21	

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario instalar 21 baterías para garantizar la autonomía del sistema durante 6 horas de trabajo lo que equivale a un día y medio.

Al conectar 21 baterías en paralelo se garantiza la corriente, sin embargo, esto es peligroso debido a que las baterías suelen aumentar su temperatura y puede ocurrir un accidente, por eso se recomienda que su instalación sea en sitios con excelente ventilación y aislado del personal como de materiales inflamables.

Las baterías con la profundidad de descarga del 80% tiene una vida útil de aproximadamente 600 ciclos (revisar anexo U) en tiempo aproximadamente de dos años de vida útil lo que quiere decir que la inversión en las baterías debe ser periódica.

En el anexo U se muestra el precio y las características de la batería utilizada.

4.3.4. Sistema Solar Híbrido.

El sistema híbrido es un sistema que utiliza un inversor cargador el cual cumple la función de cargar las baterías mediante el sistema solar o directamente de la red eléctrica. Este sistema puede ser muy útil en lugares donde hay racionamiento de luz como lo es la costa colombiana ya que puede aprovechar la acumulación de energía en baterías para suplir estos cortes de energía. En este trabajo de grado se estudió la implementación de un sistema solar con inversor cargador, la potencia máxima teórica a instalar se obtuvo de las mediciones de potencia de corriente alterna de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*. La potencia máxima medida es de 2459.4 W y por criterio de diseño se trabajó con 2500 W.

Tabla 31. Potencia teórica del sistema híbrido (inversor cargador).

Descripción	Número	P[W]	Horas / día	Energía diaria teórica [Wh]
Rectificador de corriente	1	2500	4	10000

Fuente: Elaboración propia.

Se calculo el rendimiento del sistema partir de la ecuación 33 (ecuación de rendimiento) para determinar el valor de energía requerida.

Tabla 32. Factor de rendimiento sistema con inversor cargador.

Kb	0.05
Ka	0.012
Kc	0.1
Kr	0.1
Kv	0.15
Pd	0.8
N	1.5
R	0.5865

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento de la instalación es del 58.65%, las perdidas incrementan al añadir el inversor al sistema. Se calculo la energía requerida a producir para este sistema con la ecuación 34 (energía requerida a producir).

Tabla 33. Energía requerida diaria a producir sistema hibrido.

Energía teórica	10000	w/h dia
Rendimiento global	0.58	
Energía diaria a producir	17241.37	w/h dia

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la energía diaria a producir se calculan los componentes del sistema.

- Paneles solares.

Para este sistema se seleccionó el mismo panel solar de los 2 sistemas anteriores (revisar tabla 16 especificaciones panel), el número de paneles en paralelo y serie se calculó con las ecuaciones 36 y 38 respectivamente.

Tabla 34. Numero de paneles sistema hibrido.

Hsp	4,6698	
ipm	9.2	A
Energía requerida	17241.3793	Wh/día
Energía por panel	42.9626	Ah/día
Voltaje sistema	39.9	V
Voltaje panel	39.9	V
Paneles serie	1	1
paneles paralelos	10.0579241	11
Total paneles	11	

Fuente: Elaboración propia.

Para este sistema se necesita un mayor número de paneles solares en comparación con los 2 sistemas anteriores esto debido a que el sistema es menos eficiente.

- Inversor Híbrido.

La selección del inversor se hace en base a la potencia nominal a instalar en este caso es de 4070 W y se seleccionó un inversor que entregara 220 v a la salida, el cual es el voltaje de operación del rectificador y que aceptara la corriente entregada por los módulos fotovoltaicos que es de 101.2 A y que por último sea comercial en Colombia.

Tabla 35. Especificaciones inversor hibrido.

Fabricante	Powest
Modelo	5 Kva
Máxima potencia P.V	6000 W
Voltaje nominal salida	220/230/240 Vac

Corriente nominal salida	21.7 Amp
eficiencia dc/ac	93%
Voltaje batería	48 V
máxima corriente P.V	120 A

Fuente: Elaboración propia.

Las especificaciones completas de este inversor híbrido se encuentran en anexo V al igual que el precio de comercialización en Colombia, con los datos del inversor se calcula el número de baterías que se instalan en el sistema.

- **Batería**

Se selecciono la misma batería del sistema aislado, para este sistema se debe cumplir con el voltaje de batería exigido por el inversor que es de 48 V por lo cual es necesario instalar 4 baterías en serie.

Tabla 36. Numero de baterías sistema Híbrido.

Marca	Leoch battery
Modelo	LPG series Gel
Voltaje nominal	12 V
Amperaje	200 Ah
Baterías serie	4
Bancos batería	1
Total baterías	4

Fuente: Elaboración propia.

Se estimó que las baterías pueden garantizar hasta 3.57 horas de autonomía a potencia máxima de operación del proceso lo que equivale a casi un día de trabajo del proceso, donde en el peor de los casos puede existir racionamiento de luz.

4.3.5. Análisis de los 3 sistemas fotovoltaicos planteados.

Se realizo una análisis económico y técnico de los 3 sistemas fotovoltaicos para conocer el sistema más viable con el fin de realizarle un estudio económico y de diseño más robusto. A continuación, se muestra una tabla comparativa con los

precios de inversión inicial de los componentes principales para cada sistema, los precios comerciales en Colombia se encuentran en los anexos de este documento.

Tabla 37. Análisis de los tres sistemas fotovoltaicos.

Tipo de tecnología	Componentes sistema	# componentes	Precio Unitario	Total Inversión	Ventajas	Desventajas
Grid tied conectado a la red	Paneles	7	\$ 499000	\$ 6685000	Reduce el consumo de energía eléctrica de la red	No es un sistema independiente de la red, en caso de racionamiento de energía eléctrica el sistema no está generando y necesita importar energía de la red puede existir racionamiento.
	Inversor	1	\$ 3192000			
Sistema aislado	Paneles	8	\$499000	\$ 36255568	Es un sistema totalmente independiente de la red eléctrica.	Es un sistema costoso, las baterías tienen una vida útil de máximo 3 años, lo que significa que la inversión de las baterías se realiza periódicamente.
	Baterías	21	\$ 1431856			
	Regulador de carga	1	\$ 2194592			
Sistema Híbrido	Paneles	11	\$ 499000	\$ 15716424	En caso de racionamiento de energía eléctrica el sistema de respaldo de baterías puede suplir el consumo	En comparación con el sistema grid tied es ineficiente al incorporar las baterías al sistema lo cual aumenta
	Inversor híbrido	1	\$ 4500000			

				del proceso, este sistema puede ser muy útil en lugares con racionamiento.	los costos de inversión y reduce la eficiencia del sistema.
	Baterías	4	\$ 1431856		

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis económico y técnico realizado, el sistema que presenta menos costos y una mayor eficiencia es el sistema GRID TIED, el cual es una interesante propuesta para ahorro en las facturas de energía eléctrica por esa razón se realiza un análisis financiero más detallado de este.

4.3.6. Sistema seleccionado.

A partir del anterior análisis realizado se seleccionó la mejor propuesta para realizar un análisis más completo, inicialmente se dimensiono la capacidad de las protecciones y los conductores con el fin de incluirlos en la inversión inicial del sistema GRID TIED para realizar un análisis financiero de este.

- Conductores y protecciones.

Para el dimensionado de las protecciones y los conductores se basó en lo indicado por la norma técnica colombiana (NTC2050), la cual exige de manera obligatoria su cumplimiento en instalaciones eléctricas. En el dimensionamiento se tuvo en cuenta que la capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal de las protecciones contra sobre corriente no puede ser menor al 1.25 de la corriente en todo el circuito [24]. Para el dimensionamiento nominal de las protecciones se tuvo en cuenta la sección 240-6 de la de la NTC 2050 el cual indica los valores de corrientes nominales normalizadas (ver Anexo W) y para los conductores se tuvo en cuanta la tabla 310-16 de la NTC 2050, la cual indica la corriente permisible en

conductores aislados para 0-2000 V (ver Anexo W) para este sistema se trabajó con conductores en cobre.

Tabla 38. Dimensionados conductores de los paneles fotovoltaicos.

Conductores Dc	
corriente corto circuito panel	9.61[A]
factor de seguridad	1.25
corriente icc con seguridad	12.0125[A]
corriente serie	
corriente	12.0125[A]
factor de seguridad	1.25
corriente en serie con seguridad	15.015625[A]
Calibre seleccionado	14 AWG 90°
Corriente máxima conductor	25
Cumplimiento.	sí cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Dimensionados conductores a la salida del inversor.

Conductor inversor-red	
Corriente inversor	11.36[A]
Factor de seguridad	1.25
Corriente corregida	14.2[A]
Calibre seleccionado	14 AWG 90°
Corriente máxima conductor	25
Cumplimiento	sí cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Dimensionadas protecciones al inversor.

Protecciones contra corriente al inversor	
corriente corto circuito panel	9.61[A]
factor de seguridad	1.25
corriente icc con seguridad	12.0125[A]

Protección Nominal	15[A]
--------------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Dimensionadas protecciones salida del inversor.

Protecciones salida del inversor	
corriente inversor	11.36
Factor de seguridad	1.25
corriente con seguridad	14.2 [A]
Protección nominal	15 [A]

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las protecciones y conductores dimensionados se elaboro el diagrama del sistema GRID TIED propuesto, este se encuentra en el anexo X.

4.3.7. Análisis financiero de la implementación del sistema seleccionado.

A partir de la simulación realizada del sistema GRID TIED (anexo P), se realizó un análisis financiero en valores constantes al 2020. El análisis se realiza para una proyección a 10 años incluyendo una financiación del 60% por 5 años, con un banco santandereano (banco cooperativo coopcentral) el cual brinda una de las tasas de interés anual más bajas para crédito de libre inversión [25] que es del 12% anual. Los costos de mantenimiento y operación fijos anuales se obtuvieron de la base de datos de energía renovables de los estados unidos, el cual es de 18 USD/Kw [26], los costos de inversión inicial se encuentran en el anexo Y, la depreciación del activo se hace a 5 años ya que el proyecto se acoge a los incentivos de la ley 1715 que promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales. Inicialmente se hace el servicio de la deuda para obtener el valor de la cuota fija y la depreciación anual de la deuda la cual será tomada en cuenta en el flujo de caja de cada año.

Figura 45. Servicio de la deuda.

Cifras en Millones de Pesos Constantes del 2020						
Datos Crédito						
Tasa de Interés	12,000%					
Porcentaje de financiación	60%					
Valor Crédito	5.397.628,8					
Plazo (años)	5					
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Saldo Inicial	5.397.628,80	5.397.628,80	4.547.989,50	3.596.393,48	2.530.605,94	1.336.923,89
Intereses	0,00	-647.715,46	-545.758,74	-431.567,22	-303.672,71	-160.430,87
Amortización	0,00	-849.639,30	-951.596,02	-1.065.787,54	-1.193.682,05	-1.336.923,89
Cuota Fija	0,00	-1.497.354,76	-1.497.354,76	-1.497.354,76	-1.497.354,76	-1.497.354,76
Saldo Final	5.397.628,80	4.547.989,50	3.596.393,48	2.530.605,94	1.336.923,89	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el servicio de la deuda se realiza el análisis financiero. Para este análisis se consideró los ahorros por energía por autoconsumo y los ahorros por exportación a la red eléctrica. Los valores de energía exportada se estimaron teniendo en cuenta el horario de trabajo de la empresa y los días festivos en Colombia con base a la curva de generación del sistema (revisar Anexo Z) a continuación se muestra el cálculo de energía exportada.

Tabla 42. Energía exportada por el sistema

Energía Generada Año	4010	kWh
Energía Generada Día	10.98630137	kWh
Días de generación año	365	días
Domingos y festivos año	70	días
Días laborales año	295	días
Energía exporta dyf	10.98630137	kWh
Energía exportada día laboral	1.541630138	kWh
Energía exportada año	1223.82	kWh
Energía Autoconsumo	2786.18	kWh
Porcentaje exportación	30.52%	

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros del análisis financiero se muestran a continuación.

Tabla 43. Parámetros análisis financiero.

energía generada autoconsumo. (kwh)	2786.18
energía exportada (kwh)	1223.82
precio energía(\$/kwh)	\$ 583.97
Precio energía exportada(\$/kwh)	\$ 528.54
inversión sistema (\$)	\$ 8996048
valor a depreciar	\$ 7699600
coym(\$)	\$ 157500
vida útil activos	20
tasa esperada de rentabilidad	12%
porcentaje de financiación	60%
tasa de interés de crédito	12%
impuesto de renta	0.32
plazo crédito	5

Figura 46. Flujo de caja Anual Análisis financiero.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
+energía generada		2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883	2.273.883
			0	0	0	0					
			0	0	0	0					
-Costos de Operación		-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500	-157.500
-Intereses Crédito		-647.715	-545.759	-431.567	-303.673	-160.431	0	0	0	0	0
-Depreciación		-1.539.920	-1.539.920	-1.539.920	-1.539.920	-1.539.920	0	0	0	0	0
-Amortización de Gastos Preoperativos											
=Ganacias Operativas Gravables		-71.252	30.705	144.896	272.791	416.032	2.116.383	2.116.383	2.116.383	2.116.383	2.116.383
-Impuesto a la renta		22.801	-9.825	-46.367	-87.293	-133.130	-677.243	-677.243	-677.243	-677.243	-677.243
+Ingreso Venta de Activos (V V - S L)											
-Impuesto sobre Ingreso Venta Activos											
+Valor en libros activos vendidos											
+Otros ingresos no gravables											
-Costos No deducibles											
=Ganacias Netas Contables		-48.451	20.879	98.529	185.498	282.902	1.439.141	1.439.141	1.439.141	1.439.141	1.439.141
+Depreciación		1.539.920	1.539.920	1.539.920	1.539.920	1.539.920	0	0	0	0	0
+Amortización de Gastos Preoperativos											
-Costos de Inversión		-8.996.048									
-Inversiones Financieras Asociadas											
+Crédito Recibido	5.397.629										
-Amortización Crédito		-849.639	-951.596	-1.065.788	-1.193.682	-1.336.924	0	0	0	0	0
+Valor Salvamento											
=Flujo de Fondos Neto	-3.598.419	641.829	609.203	572.662	531.736	485.898	1.439.141	1.439.141	1.439.141	1.439.141	1.439.141
	-\$ 3.598.419	-\$ 2.968.590	-\$ 2.347.387	-\$ 1.774.725	-\$ 1.242.989	-\$ 757.091	\$ 682.050	\$ 2.121.190	\$ 3.560.331	\$ 4.999.472	\$ 6.438.612

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los flujos de caja anuales se obtiene los resultados del análisis financiero.

Tabla 44. Resultados Análisis financiero.

Resultados.	
VPN	\$ 1.425.230
TIR	19,15%
DEVOLUCION DE LA INVERSION	5 años y 6 meses

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados se puede observar que el valor presente neto es positivo lo cual lo hace un proyecto rentable, también se observa que a partir del sexto mes del año 5 la inversión es recuperada. La implementación de este proyecto deja un ahorro de COP 2.273.883 anuales en el pago de factura de energía eléctrica.

5. CONCLUSIONES

- En las mediciones, observaciones y la caracterización energética realizadas al proceso de anodizado en la empresa electroquímica recubrimientos de la ciudad de Bucaramanga se encontró que el proceso se realiza de una manera ineficiente lo cual conlleva a un alto consumo de energía eléctrica y térmica. No existe una cultura energética por parte de los operarios ni el gerente, se observa que el proceso se realiza sin control de las variables con las que se realiza. En el análisis realizado se planteó una línea meta de ahorro de consumo de energía por variabilidad operacional equivalente al 10.6%. En base a la energía y la producción promedio se pueden ahorrar 278.75 Wh por cada 0.9364 m² de material anodizado.
- En el análisis de experimentos realizados se plantearon 2 ecuaciones halladas mediante un análisis estadístico por el método ANOVA. Estas ecuaciones pueden ser implementadas por la empresa electroquímica recubrimientos y por otras industrias que realicen el proceso de anodizado y sus variables se ajusten a las condiciones de la ecuación para predecir de una manera más exacta el espesor de capa anodizada. En el análisis de experimentos se encontró por medio de una ecuación teórica que la empresa electroquímica recubrimientos solo necesita de 29.19 min para lograr el espesor que se requiere y en promedio el tiempo medido fue de 53.8 min. El ahorro en tiempo al operar de manera más eficiente sería del 45.8% equivalente a 24.6[min] y consumo de energía eléctrica en base a la potencia eléctrica promedio medida que es de 1925.3 w, se puede ahorrar 798.051 Wh por cada 0.9364 m² de material anodizado, lo que equivale a un ahorro de energía eléctrica en base al consumo promedio del 44.7 %.
- En los 3 sistemas fotovoltaicos planteados se encontró que el sistema económica y técnicamente viable para implementar en la empresa electroquímica recubrimientos, es un sistema conectado a la red con una potencia instalada de 2590 W, el cual genera anualmente 4010 Kwh/año y ahorra \$2273883 [cop]

equivalente al 29.5% del pago promedio anual de energía eléctrica por la empresa electroquímica recubrimientos.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Se sugiere realizar la caracterización energética total de la empresa *Electroquímica Recubrimientos* con el fin de encontrar opciones de mejora energética a otros procesos electroquímicos.
- Se recomienda realizar pruebas teniendo en cuenta más variables como la temperatura y agitación del electrolito con el fin de observar el efecto de estas en la formación de la capa anódica.
- Se aconseja realizar el análisis microscópico de barrido con el fin de obtener de manera real el tamaño del espesor el cual es la respuesta en el análisis ANOVA.
- Se recomienda realizar la medición de la curva de carga total de la empresa para obtener datos de intercambio de energía con la red más aproximados en la implementación del sistema GRID TIED.
- Se recomienda a la empresa electroquímica recubrimientos implementar las opciones de mejora planteadas en el diagnóstico energético realizado en este trabajo de grado.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] O.GOMEZ, «ESTANDARIZACIÓN DE UN PROCESO DE ANODIZADO IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA ALLEGION COLOMBIA S.A.S. »,UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTA, 2019.
- [2] S. USER, "EFICIENCIA ENERGÉTICA Y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA (URE)", CAB.CNEA.GOV.AR, 2020. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://WWW.CAB.CNEA.GOV.AR/IEDS/INDEX.PHP/CIENCIA-Y-TECNOLOGIA/EFICIENCIA-ENERGETICA](https://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/index.php/ciencia-y-tecnologia/eficiencia-energetica). [ACCESSED: 7- AUG- 2020].
- [3] A. ROJAS «OBTENCIÓN DEL ÓXIDO DE ALUMINIO A PARTIR DE RESIDUOS ORIGINADOS DEL PROCESO DE ALUMINIO EN LA INDUSTRIA DE COLOMBIA» UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, BOGOTÁ, 2007.
- [4]. C.GIUDICE y A. PEREYRA «PROTECCIÓN DE MATERIALES ANODIZADO DE ALUMINIO» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA REGIONAL, FACULTAD REGIONAL LA PLATA.
- [5]. BARAJAS FELIX «DESARROLLO DE UN PROCESO DE ANODIZADO ELECTROLÍTICO SOBRE DURALUMINIO EN H3PO4 CON ELECTRODEPOSICIÓN DE NÍQUEL» UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA, 2007.
- [6]. H. GUTIERREZ Y R DE LA VARA «ANÁLISIS Y DISEÑOS DE EXPERIMENTOS SEGUNDA EDICION» McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V, MEXICO D, 2008.
- [7]. SOPORTE TECNICO MINITAB 18, [ONLINE], AVAILABLE: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/> [ACCESSED 10-FEB-2020]
- [8]. L. SANCHEZ «SINTESIS Y CARACTERIZACION DE NANOESTRUCTURASPOROSAS DE ALUMINIO ANODIZADO» UNIVERSIDAD

NACIONAL DE COLOMBIA, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, MANIZALES, 2009.

[9]. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS S.A, «ENERGIAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA» PRIMERA EDICIÓN, 2008.

[10]. R. KELLY, J. SCULLY, D. SHOESMITH Y R. BUCHHEIT «ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES IN CORROSION SCIENCE AND ENGINEERING» UNIVERSITY OF VIRGINIA, UNIVERSITY OF WESTERN ONTARIO, THE OHIO STATE UNIVERSITY, CHARLOTTESVILLE, VIRGINIA, U.S.A., LONDON, ONTARIO, CANADÁ, COLUMBUS, OHIO, U.S.A., 2003.

[11] H. CORNEJO, «SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED EN EL CENTRO MATERNO INFANTIL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA», PIURA, PERU, 2013.

[12]. C. VARGAS, P. BASTIDA, L. MONTAURI «DISEÑO DE SISTEMA HÍBRIDO BASADO EN ENERGÍA SOLAR PV CON ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS: APLICACIÓN A LA ENSEÑANZA DE MICRORREDES ELÉCTRICAS UTILIZANDO MICROSOFT EXCEL» UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE VALENCIA 2019.

[13]. P. VALDIVIESO «DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 PORTÁTILES DE LA PUCP» PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU, PERU, 2014.

[14] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS «FACTORES DE CAPACIDAD EN GALONES DE LOS CILINDROS DE 20,30,40,80 Y 100 LB PARA PRECIO DE VENTA FINAL APLICABLE ENTRE MARZO 2020-FEBRERO DE 2003» COLOMBIA, FEBRERO 14 DE 2002.

[15] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA «DETERMINACIÓN DE POTENCIALES DE USO PARA ACTIVAR EL SUBSECTOR DEL GLP EN COLOMBIA» BOGOTÁ, OCTUBRE DE 2013.

[16]. DEL PILAR CASTRILLON, ROSAURA; GONZÁLEZ, ADRIANA JANETH; CIRO QUISPE, ENRIQUE «MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO POR PROCESO HÚMEDO A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA» UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, FEBRERO DE 2013.

[17]. REYES,C.NUÑEZ«EVALUACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL ANODIZADO DEL ALUMINIO DE ALTA PUREZA EN ACIDO SULFURICO PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN BIOMEDICA» BUCARAMANGA 2011

[18] L. VERGARA, L. NEREY, V. GUEDEZ «MODELO PREDICTIVO DEL ESPESOR DE LA CAPA DE ÓXIDO Y MICRO DUREZA EN ALUMINIO AL3003-B14 Y AL6063-T6 ANODIZADO USANDO ANÁLISIS MULTIFACTORIAL» “Abril 20 DE 2010.

[19]. "INTRODUCCIÓN – GOOGLE EARTH", GOOGLE EARTH, 2020. [Online]. Available: <https://www.google.com/intl/es/earth/>. [Accessed: 12- Jul- 2020].

[20]. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS) - EU SCIENCE HUB - EUROPEAN COMMISSIO, EU SCIENCE HUB - EUROPEAN COMMISSION, 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. [Accessed: 27- Jul- 2020].

[21]. HOGAR, "AUTOGENERACIÓN", ESSA.COM.CO, 2020. [Online]. Available: <https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/autogeneracion/clientesgobierno>. [Accessed: 18- jul- 2020].

[22]. RENDIMIENTO GLOBAL Y ENERGÍA REQUERIDA. | ISF06.- DISEÑO, DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICA...", IK[2]ASTAROAK.ULHI.NET, 2020. [Online]. Available: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF06/es_IEA_ISF06_Contentidos/webseite_12_rendimiento_global_y_energa_requerida.html. [Accessed: 01- Aug- 2020].

[23].SUNCOLOMBIA.COM,2020.[Online].Available:<https://www.suncolombia.com/pdf/40.LPG%2012-200.pdf>. [Accessed: 02- Aug- 2020].

[24] ICONTEC NTC 2050 «INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN » BOGOTÁ, CUNDINAMARCA 2020.

[25] MEJORES CRÉDITOS DE LIBRE INVERSIÓN 2020 RANKIA, 2020. [Online]. Available: <https://www.rankia.co/blog/mejores-creditos-y-prestamos-colombia/3149239-mejores-creditos-libre-inversion-2020>. [Accessed: 12- Aug- 2020].

[26] NREL, «ANNUAL TECHNOLOGY BASELINE (ATB),» GOLDEN, 2019. [Online]. Available: <https://atb.nrel.gov/electricity/2019>. [Accessed 02- Aug 2020]

9. ANEXOS

Anexo A. Tipos de soluciones electrolíticas, aplicaciones y otras características.

Soluciones electrolíticas	Aplicaciones y otras características
Ácido crómico (3% a 10%)	<ul style="list-style-type: none">• Aplicaciones en ambientes marinos• Genera una película de anodizado delgada• Excelente resistencia a la corrosión• Proceso altamente cancerígeno
Ácido sulfúrico (10% a 30%)	<ul style="list-style-type: none">• Aplicaciones decorativas en interiores y exteriores• Aplicaciones en la ingeniería• Presenta complicaciones de anodizado con algunas aleaciones• Oxido de alta calidad
Ácido oxálico (3% a 10%)	<ul style="list-style-type: none">• aplicaciones decorativas• Oxido de media calidad
Ácido fosfórico (3% a 20%)	<ul style="list-style-type: none">• Aplicaciones en la industria aeronáutica• Oxido de gran durabilidad en condiciones adversas
Ácido sulfúrico-bórico (4.5% a 5%)	<ul style="list-style-type: none">• Actualmente en desarrollo• Pretende reemplazar al ácido crómico.

Anexo B. Clase y medida de espesores para aplicaciones concretas.

Clase	Situación y sollicitación	Espesor mínimo de capa, μm
10	Interior, seco	10
20	Interior, húmedo; Exterior	20
Piezas de materiales para laminación y forja		
Piezas con sollicitación mecánica (protección contra el desgaste)		> 30 hasta 60 μm
Productos de consumo como baterías de cocina, recipientes de todo tipo, artículos de camping		10 hasta 20 μm
Herrajes de cualquier tipo		10 hasta 15 μm
Reflectores		5 hasta 10 μm
Bisutería y objetos artísticos, artículos de costura y adorno		5 hasta 10 μm
Piezas fundidas		
general		10 hasta 15 μm
Piezas de herraje		10 hasta 15 μm
Para todo tipo de piezas para barcos		20 μm

Anexo C. Construcción de tablas de diseño de experimentos 2^k cuando $k \leq 5$.

2^k cuando $k \leq 5$						
Tratamiento	Notación de yates	A	B	C	D	E
1	(-1)	-1	-1	-1	-1	-1
2	a	1	-1	-1	-1	-1
3	b	-1	1	-1	-1	-1
4	ab	1	1	-1	-1	-1
5	c	-1	-1	1	-1	-1
6	ac	1	-1	1	-1	-1
7	bc	-1	1	1	-1	-1
8	abc	1	1	1	-1	-1
9	d	-1	-1	-1	1	-1
10	ad	1	-1	-1	1	-1
11	bd	-1	1	-1	1	-1
12	abd	1	1	-1	1	-1
13	cd	-1	-1	1	1	-1
14	acd	1	-1	1	1	-1
15	bcd	-1	1	1	1	-1
16	abcd	1	1	1	1	-1
17	e	-1	-1	-1	-1	1
18	ae	1	-1	-1	-1	1
19	be	-1	1	-1	-1	1
20	abe	1	1	-1	-1	1
21	ce	-1	-1	1	-1	1
22	ace	1	-1	1	-1	1
23	bce	-1	1	1	-1	1
24	abce	1	1	1	-1	1
25	de	-1	-1	-1	1	1
26	ade	1	-1	-1	1	1
27	bde	-1	1	-1	1	1
28	abde	1	1	-1	1	1
29	cde	-1	-1	1	1	1
30	acde	1	-1	1	1	1
31	bcde	-1	1	1	1	1
32	abcde	1	1	1	1	1

Anexo D. Pasos para llegar a la ANOVA en un diseño 2⁵.

Diseño 2 ⁵																																
Tratamiento	N. de yates						A	A	A	A	B	B	B	C	C	D	AB	AB	AB	AC	AC	AD	BC	BC	BD	CD	ABC	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
		A	B	C	D	E	B	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D
1	(-1)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	
2	a	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	
3	b	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	
4	ab	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	
5	c	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	
6	ac	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	
7	bc	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	
8	abc	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	
9	d	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	
10	ad	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	
11	bd	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	
12	abd	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	
13	cd	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	
14	acd	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	
15	bcd	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	
16	abcd	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
17	e	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	
18	ae	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	
19	be	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	
20	abe	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	
21	ce	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	
22	ace	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	

23	bce	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	
24	abce	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	
25	de	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
26	ade	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
27	bde	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+
28	abde	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
29	cde	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+
30	acde	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
31	bcde	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
32	abcd e	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Anexo E. Cuestionario de entrada (Funcionamiento de la empresa).



Proyecto Academico de Caracterizacion del proceso de Anodizado.	
---	--

Cuestionario Preliminar.	
Fecha	13 de Febrero de 2010

Nombre y direccion empresa	Electroquímica Recubrimientos, Cra 10 # 28-46
Año de fundacion	1997
Persona acontactar	Anel Hurtado Leon
Telefono	3105549616
Rama industrial	Metallurgica

Numero de empleados.	Seis
Horario de trabajo	3:00 am - 5:30 P.m
Dias de trabajo semana.	Seis dias Lunes - Sabado
Procesos que realizan	Recubrimientos metalicos: - Anodizado - Niquelado - Galvanizado - Cromado

Proceso de anodizado.	
Maximo de horas del proceso	4 horas al dia
Maxima produccion por proceso[m ²]	1.4[m ²]
Densidad de corriente	1.2 [A/dm ²] a 1.3 [A/dm ²]
Voltaje de operacion	8 [V] a 11[V]



Firma Gerente.

Anexo F. minutos que se utiliza el gas durante 21 días.

Fecha	minutos
25-feb-20	352
26-feb-20	343
27-feb-20	371
28-feb-20	362
29-feb-20	317
2-mar-20	392
3-mar-20	341
4-mar-20	364
5-mar-20	351
6-mar-20	357
7-mar-20	368
9-mar-20	370
10-mar-20	360
11-mar-20	320
12-mar-20	325
13-mar-20	370
14-mar-20	360
16-mar-20	365
17-mar-20	375
18-mar-20	272
Total	7035

Anexo G. Mediciones de potencia en alterna en las 21 pruebas.

Tiempo [min]	Medición de potencia alterna prueba 1-10 [W]									
	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1071.4	1038.3	1252.7	1431.0	2129.4	2379.6	2418.6	2416.4	2271.1	1953.6
6	1076.8	1200.5	1256.3	1437.4	2132.3	2384.1	2428.3	2416.8	2265.2	1951.3
9	1106.1	1182.3	1249.4	1443.3	2160.2	2386.3	2446.5	2421.7	2267.3	1961.4
12	1099.6	1180.6	1245.8	1466.1	2160.8	2386.4	2450.3	2427.9	2280.3	1967.1
15	1098.2	1170.8	1245.5	1465.4	2130.7	2366.5	2452.2	2431.5	2278.8	1909.5
18	1057.4	1151.0	1244.0	1465.2	2122.0	2345.8	2453.1	2433.8	2281.4	1909.4
21	1065.8	1161.5	1246.1	1434.5	2116.8	2342.6	2456.4	2443.7	2257.0	1911.3
24	1070.5	1166.9	1241.3	1425.2	2119.2	2342.8	2459.4	2432.2	2240.4	1913.3
27	1075.3	1168.8	1242.2	1430.9	2118.5	2344.0	2451.9	2442.1	2240.9	1917.3
30	1074.1	1167.4	1241.9	1432.4	2120.0	2344.8	2400.3	2446.2	2201.7	1916.4
33	1069.4	1164.7	1245.5	1431.0	2119.2	2347.3	2381.4	2409.2	2242.1	1916.4
36	1071.7	1162.5	1244.9	1431.2	2119.8	2344.7	2382.3	2379.5	2250.4	1920.3
39	1070.5	1166.7	1244.0	1430.7	2119.9	2346.3	2382.6	2373.7	2249.5	1917.0
42	1081.2	1158.5	1243.1	1426.1	2121.0	2347.1	2384.8	2375.7	2249.3	1917.0
45	1068.2	1156.7	1245.8	1391.9	2121.0	2346.6	2387.4	2373.6	2278.7	1917.3
48	1071.7	1166.1	0.0	1426.2	2117.4	0.0	2384.7	2362.0	2249.1	1919.1
51	1066.8	1164.9	0.0	1425.1	2119.4	0.0	2385.6	2356.9	2245.2	1921.5
54	1071.7	1168.0	0.0	0.0	2120.3	0.0	2382.3	2359.2	2244.7	1920.3
57	0.0	1167.4	0.0	0.0	2118.9	0.0	2387.5	2360.2	2288.7	1923.3
60	0.0	0.0	0.0	0.0	2117.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1923.0
Promedio	1075.9	1161.2	1245.9	1434.9	2125.2	2357.0	2414.5	2403.3	2256.9	1925.3

Tiempo [min]	Medición de potencia alterna prueba 11-21 [W]										
	P.11	P.12	P.13	P.14	P.15	P.16	P.17	P.18	P.19	P.20	P.21
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2022.3	2273.3	2153.9	1882.4	2184.1	2146.9	2310.6	2369.4	2433.5	1552.0	1421.5
6	2020.9	2274.7	2163.8	1893.8	2187.4	2146.6	2343.9	2391.3	2431.4	1560.1	1422.0
9	1996.2	2277.6	2168.6	1907.0	2185.9	2155.6	2356.2	2394.6	2440.7	1563.1	1428.0
12	2002.5	2287.1	2163.2	1900.1	2185.6	2164.9	2340.6	2397.3	2430.8	1567.9	1461.6
15	2011.0	2229.4	2159.6	1903.1	2187.4	2137.6	2313.9	2399.1	2419.1	1569.4	1454.4

18	1996. 2	2229. 8	2148. 2	1890. 8	2189. 5	2125. 9	2296. 2	2397. 9	2441. 0	1551. 1	1428. 3
21	1995. 9	2229. 5	2147. 9	1863. 5	2166. 7	2128. 6	2297. 4	2394. 0	2414. 0	1553. 5	1425. 3
24	1998. 0	2230. 1	2147. 6	1875. 2	2169. 4	2132. 8	2298. 3	2390. 1	2410. 4	1542. 4	1433. 4
27	1995. 9	2229. 5	2148. 5	1877. 6	2166. 1	2132. 5	2300. 4	2387. 7	2399. 0	1542. 4	1440. 0
30	2001. 8	2229. 8	2151. 2	1878. 5	2163. 4	2134. 3	2298. 6	2381. 4	2404. 1	1543. 3	1457. 7
33	1999. 1	2232. 5	2151. 5	1874. 3	2165. 5	2137. 9	2306. 7	2376. 3	2409. 8	1539. 1	1443. 0
36	2001. 9	2235. 5	2147. 9	1874. 3	2169. 1	2137. 0	2298. 9	2379. 9	2411. 6	1540. 3	1430. 4
39	2005. 8	2227. 8	2151. 2	1873. 4	2166. 7	2138. 2	2288. 4	2383. 2	2412. 2	1539. 1	1434. 0
42	1999. 2	2229. 1	2145. 2	1875. 2	2169. 4	2139. 1	2292. 3	2384. 1	2415. 8	1543. 9	1461. 3
45	2000. 7	2236. 4	2142. 5	1874. 6	2169. 7	2140. 9	2304. 6	2388. 0	2415. 5	1545. 4	1442. 4
48	2003. 1	2232. 7	2139. 8	1877. 3	2169. 1	2142. 4	2302. 5	2387. 4	2411. 9	1543. 9	1443. 0
51	2001. 9	2247. 7	2151. 5	1875. 2	2171. 8	2142. 4	2300. 7	2388. 9	0.0	1544. 5	1444. 8
54	2004. 0	2238. 8	2153. 3	0.0	2166. 1	2141. 8	2295. 6	0.0	0.0	1546. 9	1443. 0
57	1999. 1	0.0	2153. 6	0.0	2167. 3	2141. 5	2300. 7	0.0	0.0	1545. 4	0.0
60	1999. 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Promedi o	2002. 7	2124. 8	2044. 5	1882. 1	2173. 7	2140. 4	2307. 7	2387. 7	2418. 8	1549. 1	1439. 7

Anexo H. Mediciones de potencia en continua en las 21 pruebas.

Min utos	Mediciones de potencia continua [W] para las 21 pruebas realizadas.																				
	me d 1	me d 2	me d 3	me d 4	me d 5	me d 6	me d 7	me d 8	me d 9	med 10	med 11	med 12	med 13	med 14	med 15	med 16	med 17	med 18	med 19	med 20	med 21
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	876 .5	762 .8	105 1.7	117 5.4	177 6.6	200 3.6	196 5.3	201 9.0	191 3.5	164 4.6	171 8.4	191 4.8	181 3.7	156 5.5	183 8.8	180 7.2	191 1.8	193 2.0	204 9.7	129 0.4	116 7.5
6	881 .0	101 9.7	106 7.6	119 4.2	177 8.8	200 8.0	199 1.0	201 9.0	189 2.7	164 2.5	170 1.3	191 5.9	182 1.1	159 3.2	184 2.1	180 7.2	197 4.6	196 7.3	204 8.6	131 1.0	116 8.4
9	940 .2	989 .2	104 9.2	119 9.4	181 9.2	201 0.2	200 6.4	202 3.7	189 5.1	165 1.0	166 4.3	191 8.1	184 2.5	162 0.2	184 1.0	181 4.9	200 2.4	196 9.6	205 5.4	131 3.8	117 2.8
12	923 .0	986 .9	104 5.8	124 5.6	183 5.9	202 8.3	200 8.6	204 5.6	192 1.9	167 1.8	166 9.5	194 3.2	182 1.1	159 9.4	183 9.9	183 9.2	197 1.2	197 1.9	204 7.4	131 8.4	122 8.2
15	921 .8	961 .4	104 5.8	123 0.9	177 7.7	199 3.6	201 0.8	204 9.2	192 0.7	156 2.1	169 2.8	184 3.2	181 7.9	160 1.4	184 2.1	178 3.1	191 4.0	199 0.4	202 0.4	133 3.6	122 2.0
18	853 .9	934 .8	104 5.0	123 0.9	177 0.1	195 8.0	201 1.9	205 0.4	192 1.9	156 2.1	166 4.3	184 4.3	179 1.3	159 3.2	186 0.1	177 3.4	190 1.8	197 1.9	207 4.6	128 9.5	117 2.8
21	872 .0	953 .5	104 6.6	119 1.5	174 9.5	193 6.9	203 2.4	205 8.7	188 5.6	156 4.2	166 4.3	184 4.3	179 1.3	155 2.4	180 7.9	177 5.5	190 0.8	196 9.6	201 5.9	130 5.5	117 1.0
24	875 .8	958 .7	103 0.0	117 1.0	175 1.6	193 8.0	201 6.3	204 9.2	185 5.6	158 0.3	166 6.4	184 4.3	179 1.3	156 2.5	181 0.1	177 9.8	190 0.8	196 6.2	201 2.5	128 2.2	117 7.1
27	799 .8	959 .6	104 3.3	117 5.4	175 1.6	195 5.8	182 8.0	205 7.5	185 6.8	158 3.4	166 4.3	184 3.2	180 8.4	156 4.5	180 6.8	177 8.8	190 3.0	195 4.9	200 3.5	128 2.2	119 6.8
30	878 .7	958 .7	104 2.4	117 6.2	175 2.7	195 6.9	191 4.2	207 8.4	179 2.9	158 3.4	166 9.5	184 4.3	181 0.5	156 5.5	180 4.7	178 0.9	190 1.9	195 8.3	195 3.6	128 3.1	122 4.6
33	874 .9	956 .1	104 5.8	117 5.4	175 1.6	195 9.1	189 9.3	201 3.1	185 8.0	158 3.4	166 7.4	184 6.5	181 1.5	156 1.5	180 6.8	178 4.2	190 8.5	193 7.6	201 2.5	127 9.5	119 8.6
36	876 .8	954 .4	104 5.0	117 5.4	175 2.7	195 6.9	190 0.3	195 4.6	186 5.0	158 6.6	166 9.5	184 8.6	179 1.3	156 1.5	181 0.1	178 3.1	190 1.9	195 7.2	201 3.7	128 0.4	117 4.5

39	875 .8	957 .9	104 6.2	117 5.4	175 2.7	195 8.0	191 1.0	195 0.0	186 3.8	158 3.4	168 8.6	184 2.1	181 0.5	156 1.5	180 7.9	178 4.2	187 5.9	196 0.6	201 3.7	127 9.5	117 8.0	
42	896 .0	940 .8	104 4.1	117 1.0	175 2.7	195 9.1	190 2.5	195 1.9	186 3.8	158 3.4	166 7.4	184 3.2	178 9.2	156 2.5	181 0.1	178 4.2	187 9.2	195 4.9	201 7.1	128 4.0	122 8.2	
45	873 .9	939 .1	104 5.8	111 6.9	175 2.7	195 8.0	190 4.6	195 0.0	192 0.7	158 3.4	166 8.5	184 9.7	178 6.1	156 2.5	182 6.8	178 6.3	190 6.3	195 4.9	201 7.5	128 4.9	119 8.6	
48	876 .8	957 .9	0.0	117 1.0	175 0.5	0.0	190 2.5	192 4.0	186 3.8	158 5.5	167 0.6	184 6.5	177 4.5	156 4.5	181 0.1	178 7.4	190 4.1	196 3.9	201 3.7	128 4.0	119 8.6	
51	874 .6	957 .0	0.0	117 0.2	175 1.6	0.0	190 2.5	191 9.4	186 0.3	158 7.6	166 9.5	187 5.5	181 1.5	156 2.5	182 9.0	178 7.4	190 3.0	196 5.1	0.0	128 4.0	120 0.3	
54	876 .8	959 .6	0.0	0.0	175 2.7	0.0	190 0.3	192 1.7	185 9.1	158 6.6	168 6.5	185 1.9	181 2.6	0.0	180 6.8	178 7.4	189 8.6	0.0	0.0	128 5.8	119 6.8	
57	0.0	958 .7	0.0	0.0	175 1.6	0.0	0.0	192 1.7	194 5.2	158 8.7	166 7.4	0.0	181 2.6	0.0	182 1.3	178 6.3	190 3.0	0.0	0.0	128 4.9	0.0	
60	0.0	0.0	0.0	0.0	175 0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	158 8.7	166 7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
pro m	880 .5	950 .9	104 6.3	118 5.0	176 4.1	197 2.0	194 4.9	199 7.7	188 1.9	159 5.1	167 4.9	186 4.4	180 5.7	157 3.8	182 2.2	179 0.0	191 3.8	196 1.5	202 3.1	129 2.4	119 3.0	162 5.40

Anexo I. Composición química y propiedades mecánicas del aluminio: aleación Al-1050.

COMPOSICIÓN QUÍMICA										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo										
Máximo	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05		0,07	0,05	0,03	99,5

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)								
Estado	Espesor mm	Características a la tracción				Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza	
		Carga de rotura Rm, N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2, N/mm ²	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm ²		Brinell (HB)	Vickers
F	3,2 < e < 150	65		20			20	
0-H111	0,35 < e < 12	65-95	20	42	50	60	21	20
H14	0,35 < e < 12	100-140	105	10	70	70	35	36
H24	0,35 < e < 6	100-140	105	10	70	70	35	36
H16	0,35 < e < 3,2	120-160	120	7			39	
H26	0,35 < e < 3,2	120-160	120	7			39	
H18	0,35 < e < 3,2	150	140	6	100	85	43	44

Anexo J. Valores monitoreados de tiempo, temperatura del electrolito, voltaje, corriente continua y potencia de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento N° 1				Tratamiento N° 2			
Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T1 [v]	Corriente [A]	Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T2 [v]	Corriente [A]
0	18.4	0	0	0	18.7	0	0
30	18.4	1.050	0.050	30	18.7	0.000	0.000
60	18.4	3.150	0.150	60	18.7	1.560	0.080
90	18.4	10.500	0.500	90	18.7	4.095	0.210
120	18.4	19.950	0.950	120	18.7	11.115	0.570
150	18.4	16.170	0.770	150	18.7	16.575	0.850
180	18.4	16.380	0.780	180	18.7	15.015	0.770
210	18.4	16.170	0.770	210	18.7	15.015	0.770
240	18.4	16.170	0.770	240	18.7	15.015	0.770
270	18.4	16.170	0.770	270	18.7	15.015	0.770
300	18.4	16.170	0.770	300	18.7	15.015	0.770
330	18.4	16.170	0.770	330	18.7	15.015	0.770
360	18.4	16.170	0.770	360	18.7	15.015	0.770
390	18.4	16.170	0.770	390	18.7	15.015	0.770
420	18.4	16.170	0.770	420	18.7	15.015	0.770
450	18.4	16.170	0.770	450	18.7	15.015	0.770
480	18.4	16.170	0.770	480	18.7	15.015	0.770
510	18.4	16.170	0.770	510	18.7	15.015	0.770
540	18.4	16.170	0.770	540	18.7	15.015	0.770
570	18.4	16.170	0.770	570	18.7	15.015	0.770
600	18.4	16.170	0.770	600	18.7	15.015	0.770
630	18.4	16.170	0.770	630	18.7	15.015	0.770
660	18.4	16.170	0.770	660	18.7	15.015	0.770
690	18.4	16.170	0.770	690	18.7	15.015	0.770
720	18.4	16.170	0.770	720	18.7	15.015	0.770
750	18.4	16.170	0.770	750	18.7	15.015	0.770
780	18.4	16.170	0.770	780	18.7	15.015	0.770

810	18.4	16.170	0.770	810	18.7	15.015	0.770
840	18.4	16.170	0.770	840	18.7	15.015	0.770
870	18.5	16.170	0.770	870	18.7	15.015	0.770
900	18.5	16.170	0.770	900	18.7	15.015	0.770
930	18.5	16.170	0.770	930	18.7	15.015	0.770
960	18.5	16.170	0.770	960	18.7	15.015	0.770
990	18.5	16.170	0.770	990	18.8	15.015	0.770
1020	18.5	16.170	0.770	1020	18.8	15.015	0.770
1050	18.5	16.170	0.770	1050	18.8	15.015	0.770
1080	18.5	16.170	0.770	1080	18.8	15.015	0.770
1110	18.5	16.170	0.770	1110	18.8	15.015	0.770
1140	18.5	16.170	0.770	1140	18.8	15.015	0.770
1170	18.5	16.170	0.770	1170	18.8	15.015	0.770
1200	18.5	16.170	0.770	1200	18.8	15.015	0.770
1230	18.5	16.170	0.770	1230	18.8	15.015	0.770
1260	18.5	16.170	0.770	1260	18.8	15.015	0.770
1290	18.5	16.170	0.770	1290	18.8	15.015	0.770
1320	18.5	16.170	0.770	1320	18.8	15.015	0.770
1350	18.5	16.170	0.770	1350	18.8	15.015	0.770
1380	18.5	16.170	0.770	1380	18.8	15.015	0.770
1410	18.5	16.170	0.770	1410	18.8	15.015	0.770
1440	18.5	16.170	0.770	1440	18.8	15.015	0.770
1470	18.5	16.170	0.770	1470	18.8	15.015	0.770
1500	18.5	16.170	0.770	1500	18.8	15.015	0.770
1530	18.5	16.170	0.770	1530	18.8	15.015	0.770
1560	18.5	16.170	0.770	1560	18.8	15.015	0.770
1590	18.5	16.170	0.770	1590	18.8	15.015	0.770
1620	18.5	16.170	0.770	1620	18.8	15.015	0.770
1650	18.5	16.170	0.770	1650	18.8	15.015	0.770
1680	18.5	16.170	0.770	1680	18.8	15.015	0.770
1710	18.5	16.170	0.770	1710	18.8	15.015	0.770
1740	18.5	16.170	0.770	1740	18.8	15.015	0.770
1770	18.5	16.170	0.770	1770	18.8	15.015	0.770
1800	18.5	16.170	0.770	1800	18.8	15.015	0.770
1830	18.5	16.170	0.770	1830	18.8	15.015	0.770
1860	18.5	16.170	0.770	1860	18.8	15.015	0.770
1890	18.5	16.170	0.770	1890	18.8	15.015	0.770
1920	18.5	16.170	0.770	1920	18.8	15.015	0.770
1950	18.5	16.170	0.770	1950	18.8	15.015	0.770
1980	18.5	16.170	0.770	1980	18.8	15.015	0.770

2010	18.5	16.170	0.770	2010	18.8	15.015	0.770
2040	18.5	16.170	0.770	2040	18.8	15.015	0.770
2070	18.5	16.170	0.770	2070	18.8	15.015	0.770
2100	18.5	16.170	0.770	2100	18.8	15.015	0.770
2130	18.5	16.170	0.770	2130	18.9	15.015	0.770
2160	18.5	16.170	0.770	2160	18.9	15.015	0.770
2190	18.5	16.170	0.770	2190	18.9	15.015	0.770
2220	18.5	16.170	0.770	2220	18.9	15.015	0.770
2250	18.5	16.170	0.770	2250	18.9	15.015	0.770
2280	18.5	16.170	0.770	2280	18.9	15.015	0.770
2310	18.5	16.170	0.770	2310	18.9	15.015	0.770
2340	18.5	16.170	0.770	2340	18.9	15.015	0.770
2370	18.5	16.170	0.770	2370	18.9	15.015	0.770
2400	18.5	16.170	0.770	2400	18.9	15.015	0.770
2430	18.6	16.170	0.770	2430	19	15.015	0.770
2460	18.6	16.170	0.770	2460	19	15.015	0.770
2490	18.6	16.170	0.770	2490	19	15.015	0.770
2520	18.6	16.170	0.770	2520	19	15.015	0.770
2550	18.6	16.170	0.770	2550	19	15.015	0.770
2580	18.6	16.170	0.770	2580	19	15.015	0.770
2610	18.6	16.170	0.770	2610	19	15.015	0.770
2640	18.6	16.170	0.770	2640	19	15.015	0.770
2670	18.6	16.170	0.770	2670	19	15.015	0.770
2700	18.6	16.170	0.770	2700	19	15.015	0.770
2730	18.6	16.170	0.770	2730	19	15.015	0.770
2760	18.6	16.170	0.770	2760	19	15.015	0.770
2790	18.6	16.170	0.770	2790	19	15.015	0.770
2820	18.6	16.170	0.770	2820	19	15.015	0.770
2850	18.6	16.170	0.770	2850	19	15.015	0.770
2880	18.6	16.170	0.770	2880	19	15.015	0.770
2910	18.6	16.170	0.770	2910	19	15.015	0.770
2940	18.7	16.170	0.770	2940	19	15.015	0.770
2970	18.7	16.170	0.770	2970	19	15.015	0.770
3000	18.7	16.170	0.770	3000	19	15.015	0.770
3030	18.7	16.170	0.770	3030	19	15.015	0.770
3060	18.7	16.170	0.770	3060	19	15.015	0.770
3090	18.7	16.170	0.770	3090	19	15.015	0.770
3120	18.7	16.170	0.770	3120	19	15.015	0.770
3150	18.7	16.170	0.770	3150	19	15.015	0.770
3180	18.7	16.170	0.770	3180	19	15.015	0.770

3210	18.7	16.170	0.770	3210	19.1	15.015	0.770
3240	18.7	16.170	0.770	3240	19.1	15.015	0.770
3270	18.7	16.170	0.770	3270	19.1	15.015	0.770
3300	18.7	16.170	0.770	3300	19.1	15.015	0.770
3330	18.7	16.170	0.770	3330	19.1	15.015	0.770
3360	18.7	16.170	0.770	3360	19.1	15.015	0.770
3390	18.7	16.170	0.770	3390	19.1	15.015	0.770
3420	18.7	16.170	0.770	3420	19.1	15.015	0.770
3450	18.7	16.170	0.770	3450	19.1	15.015	0.770
3480	18.7	16.170	0.770	3480	19.1	15.015	0.770
3510	18.7	16.170	0.770	3510	19.1	15.015	0.770
3540	18.7	16.170	0.770	3540	19.1	15.015	0.770
3570	18.7	16.170	0.770	3570	19.1	15.015	0.770
3600	18.7	16.170	0.770	3600	19.1	15.015	0.770

Tratamiento N° 3				Tratamiento N° 4			
Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T3 [v]	Corriente [A]	Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T4 [v]	Corriente [A]
0	18.4	0	0	0	18.7	0	0
30	18.4	2.730	0.130	30	18.7	3.315	0.170
60	18.4	6.510	0.310	60	18.7	3.900	0.200
90	18.4	9.450	0.450	90	18.7	8.970	0.460
120	18.4	7.770	0.370	120	18.7	6.825	0.350
150	18.4	8.190	0.390	150	18.7	7.605	0.390
180	18.4	8.190	0.390	180	18.7	7.605	0.390
210	18.4	8.190	0.390	210	18.7	7.605	0.390
240	18.4	8.190	0.390	240	18.7	7.605	0.390
270	18.4	8.190	0.390	270	18.7	7.605	0.390
300	18.4	8.190	0.390	300	18.7	7.605	0.390
330	18.4	8.190	0.390	330	18.7	7.605	0.390
360	18.4	8.190	0.390	360	18.7	7.605	0.390
390	18.4	8.190	0.390	390	18.7	7.605	0.390
420	18.4	8.190	0.390	420	18.7	7.605	0.390
450	18.4	8.190	0.390	450	18.7	7.605	0.390
480	18.4	8.190	0.390	480	18.8	7.605	0.390
510	18.4	8.190	0.390	510	18.8	7.605	0.390
540	18.4	8.190	0.390	540	18.8	7.605	0.390
570	18.4	8.190	0.390	570	18.8	7.605	0.390

600	18.4	8.190	0.390	600	18.8	7.605	0.390
630	18.4	8.190	0.390	630	18.8	7.605	0.390
660	18.4	8.190	0.390	660	18.8	7.605	0.390
690	18.4	8.190	0.390	690	18.8	7.605	0.390
720	18.4	8.190	0.390	720	18.8	7.605	0.390
750	18.4	8.190	0.390	750	18.8	7.605	0.390
780	18.4	8.190	0.390	780	18.8	7.605	0.390
810	18.4	8.190	0.390	810	18.8	7.605	0.390
840	18.4	8.190	0.390	840	18.8	7.605	0.390
870	18.5	8.190	0.390	870	18.8	7.605	0.390
900	18.5	8.190	0.390	900	18.8	7.605	0.390
930	18.5	8.190	0.390	930	18.8	7.605	0.390
960	18.5	8.190	0.390	960	18.8	7.605	0.390
990	18.5	8.190	0.390	990	18.8	7.605	0.390
1020	18.5	8.190	0.390	1020	18.8	7.605	0.390
1050	18.5	8.190	0.390	1050	18.8	7.605	0.390
1080	18.5	8.190	0.390	1080	18.8	7.605	0.390
1110	18.5	8.190	0.390	1110	18.8	7.605	0.390
1140	18.5	8.190	0.390	1140	18.8	7.605	0.390
1170	18.5	8.190	0.390	1170	18.9	7.605	0.390
1200	18.5	8.190	0.390	1200	18.9	7.605	0.390
1230	18.5	8.190	0.390	1230	18.9	7.605	0.390
1260	18.5	8.190	0.390	1260	18.9	7.605	0.390
1290	18.5	8.190	0.390	1290	18.9	7.605	0.390
1320	18.5	8.190	0.390	1320	18.9	7.605	0.390
1350	18.5	8.190	0.390	1350	18.9	7.605	0.390
1380	18.5	8.190	0.390	1380	18.9	7.605	0.390
1410	18.5	8.190	0.390	1410	18.9	7.605	0.390
1440	18.5	8.190	0.390	1440	18.9	7.605	0.390
1470	18.5	8.190	0.390	1470	18.9	7.605	0.390
1500	18.5	8.190	0.390	1500	18.9	7.605	0.390
1530	18.5	8.190	0.390	1530	18.9	7.605	0.390
1560	18.5	8.190	0.390	1560	18.9	7.605	0.390
1590	18.5	8.190	0.390	1590	18.9	7.605	0.390
1620	18.5	8.190	0.390	1620	18.9	7.605	0.390
1650	18.5	8.190	0.390	1650	18.9	7.605	0.390
1680	18.5	8.190	0.390	1680	18.9	7.605	0.390
1710	18.5	8.190	0.390	1710	18.9	7.605	0.390
1740	18.5	8.190	0.390	1740	18.9	7.605	0.390
1770	18.5	8.190	0.390	1770	18.9	7.605	0.390

1800	18.5	8.190	0.390	1800	18.9	7.605	0.390
1830	18.5	8.190	0.390	1830	18.9	7.605	0.390
1860	18.5	8.190	0.390	1860	18.9	7.605	0.390
1890	18.5	8.190	0.390	1890	18.9	7.605	0.390
1920	18.5	8.190	0.390	1920	18.9	7.605	0.390
1950	18.5	8.190	0.390	1950	18.9	7.605	0.390
1980	18.5	8.190	0.390	1980	18.9	7.605	0.390
2010	18.5	8.190	0.390	2010	18.9	7.605	0.390
2040	18.6	8.190	0.390	2040	18.9	7.605	0.390
2070	18.6	8.190	0.390	2070	18.9	7.605	0.390
2100	18.6	8.190	0.390	2100	18.9	7.605	0.390
2130	18.6	8.190	0.390	2130	19	7.605	0.390
2160	18.6	8.190	0.390	2160	19	7.605	0.390
2190	18.6	8.190	0.390	2190	19	7.605	0.390
2220	18.6	8.190	0.390	2220	19	7.605	0.390
2250	18.6	8.190	0.390	2250	19	7.605	0.390
2280	18.6	8.190	0.390	2280	19	7.605	0.390
2310	18.6	8.190	0.390	2310	19	7.605	0.390
2340	18.6	8.190	0.390	2340	19	7.605	0.390
2370	18.6	8.190	0.390	2370	19	7.605	0.390
2400	18.7	8.190	0.390	2400	19	7.605	0.390
2430	18.7	8.190	0.390	2430	19	7.605	0.390
2460	18.7	8.190	0.390	2460	19	7.605	0.390
2490	18.7	8.190	0.390	2490	19	7.605	0.390
2520	18.7	8.190	0.390	2520	19	7.605	0.390
2550	18.7	8.190	0.390	2550	19	7.605	0.390
2580	18.7	8.190	0.390	2580	19	7.605	0.390
2610	18.7	8.190	0.390	2610	19	7.605	0.390
2640	18.7	8.190	0.390	2640	19	7.605	0.390
2670	18.7	8.190	0.390	2670	19	7.605	0.390
2700	18.7	8.190	0.390	2700	19	7.605	0.390
2730	18.7	8.190	0.390	2730	19	7.605	0.390
2760	18.7	8.190	0.390	2760	19	7.605	0.390
2790	18.7	8.190	0.390	2790	19	7.605	0.390
2820	18.7	8.190	0.390	2820	19	7.605	0.390
2850	18.7	8.190	0.390	2850	19.1	7.605	0.390
2880	18.7	8.190	0.390	2880	19.1	7.605	0.390
2910	18.7	8.190	0.390	2910	19.1	7.605	0.390
2940	18.7	8.190	0.390	2940	19.1	7.605	0.390
2970	18.7	8.190	0.390	2970	19.1	7.605	0.390

3000	18.7	8.190	0.390	3000	19.1	7.605	0.390
3030	18.7	8.190	0.390	3030	19.1	7.605	0.390
3060	18.7	8.190	0.390	3060	19.1	7.605	0.390
3090	18.7	8.190	0.390	3090	19.1	7.605	0.390
3120	18.7	8.190	0.390	3120	19.1	7.605	0.390
3150	18.7	8.190	0.390	3150	19.1	7.605	0.390
3180	18.7	8.190	0.390	3180	19.1	7.605	0.390
3210	18.7	8.190	0.390	3210	19.1	7.605	0.390
3240	18.7	8.190	0.390	3240	19.1	7.605	0.390
3270	18.8	8.190	0.390	3270	19.1	7.605	0.390
3300	18.8	8.190	0.390	3300	19.1	7.605	0.390
3330	18.8	8.190	0.390	3330	19.1	7.605	0.390
3360	18.8	8.190	0.390	3360	19.1	7.605	0.390
3390	18.8	8.190	0.390	3390	19.1	7.605	0.390
3420	18.8	8.190	0.390	3420	19.1	7.605	0.390
3450	18.8	8.190	0.390	3450	19.1	7.605	0.390
3480	18.8	8.190	0.390	3480	19.1	7.605	0.390
3510	18.8	8.190	0.390	3510	19.1	7.605	0.390
3540	18.8	8.190	0.390	3540	19.1	7.605	0.390
3570	18.8	8.190	0.390	3570	19.1	7.605	0.390
3600	18.8	8.190	0.390	3600	19.1	7.605	0.390

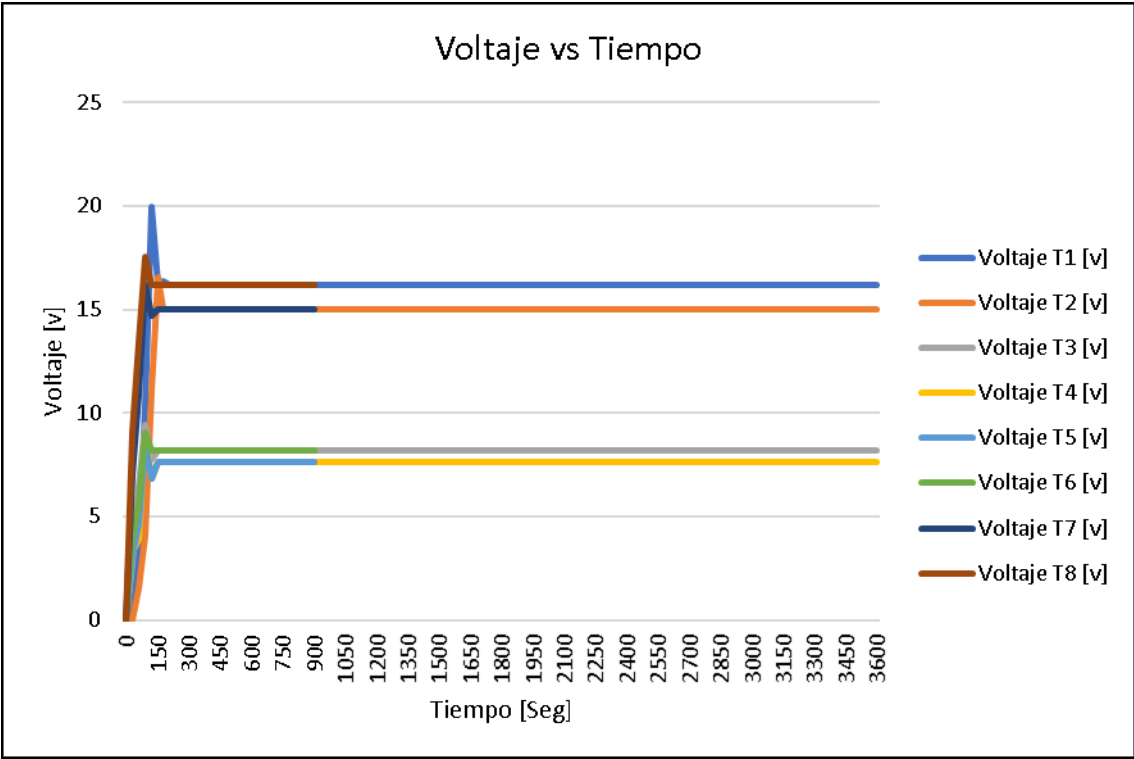
Tratamiento N° 5				Tratamiento N° 6			
Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T5 [v]	Corriente [A]	Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T6 [v]	Corriente [A]
0	18.8	0	0		18.7	0	0
30	18.8	3.120	0.160	30	18.7	3.990	0.190
60	18.8	4.680	0.240	60	18.7	5.670	0.270
90	18.8	8.580	0.440	90	18.7	9.030	0.430
120	18.8	6.825	0.350	120	18.7	8.190	0.390
150	18.8	7.605	0.390	150	18.7	8.190	0.390
180	18.8	7.605	0.390	180	18.7	8.190	0.390
210	18.8	7.605	0.390	210	18.7	8.190	0.390
240	18.8	7.605	0.390	240	18.7	8.190	0.390
270	18.8	7.605	0.390	270	18.7	8.190	0.390
300	18.8	7.605	0.390	300	18.7	8.190	0.390
330	18.8	7.605	0.390	330	18.7	8.190	0.390
360	18.8	7.605	0.390	360	18.7	8.190	0.390

390	18.8	7.605	0.390	390	18.7	8.190	0.390
420	18.8	7.605	0.390	420	18.7	8.190	0.390
450	18.9	7.605	0.390	450	18.7	8.190	0.390
480	18.9	7.605	0.390	480	18.8	8.190	0.390
510	18.9	7.605	0.390	510	18.8	8.190	0.390
540	18.9	7.605	0.390	540	18.8	8.190	0.390
570	18.9	7.605	0.390	570	18.8	8.190	0.390
600	18.9	7.605	0.390	600	18.8	8.190	0.390
630	18.9	7.605	0.390	630	18.8	8.190	0.390
660	18.9	7.605	0.390	660	18.8	8.190	0.390
690	18.9	7.605	0.390	690	18.8	8.190	0.390
720	18.9	7.605	0.390	720	18.8	8.190	0.390
750	18.9	7.605	0.390	750	18.8	8.190	0.390
780	18.9	7.605	0.390	780	18.8	8.190	0.390
810	18.9	7.605	0.390	810	18.8	8.190	0.390
840	18.9	7.605	0.390	840	18.8	8.190	0.390
870	18.9	7.605	0.390	870	18.8	8.190	0.390
900	18.9	7.605	0.390	900	18.8	8.190	0.390

Tratamiento N° 7				Tratamiento N° 8			
Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T7 [v]	Corriente [A]	Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje T8 [v]	Corriente [A]
0	18.9	0	0	0	18.8	0	0
30	18.9	7.020	0.360	30	18.8	9.030	0.430
60	18.9	10.920	0.560	60	18.8	13.440	0.640
90	18.9	16.185	0.830	90	18.8	17.535	0.835
120	18.9	14.684	0.753	120	18.8	16.170	0.770
150	18.9	15.015	0.770	150	18.8	16.170	0.770
180	18.9	15.015	0.770	180	18.8	16.170	0.770
210	18.9	15.015	0.770	210	18.8	16.170	0.770
240	18.9	15.015	0.770	240	18.8	16.170	0.770
270	18.9	15.015	0.770	270	18.8	16.170	0.770
300	18.9	15.015	0.770	300	18.8	16.170	0.770
330	18.9	15.015	0.770	330	18.8	16.170	0.770
360	18.9	15.015	0.770	360	18.8	16.170	0.770
390	18.9	15.015	0.770	390	18.8	16.170	0.770
420	18.9	15.015	0.770	420	18.9	16.170	0.770
450	18.9	15.015	0.770	450	18.9	16.170	0.770

480	18.9	15.015	0.770	480	18.9	16.170	0.770
510	19	15.015	0.770	510	18.9	16.170	0.770
540	19	15.015	0.770	540	18.9	16.170	0.770
570	19	15.015	0.770	570	18.9	16.170	0.770
600	19	15.015	0.770	600	18.9	16.170	0.770
630	19	15.015	0.770	630	18.9	16.170	0.770
660	19	15.015	0.770	660	18.9	16.170	0.770
690	19	15.015	0.770	690	18.9	16.170	0.770
720	19	15.015	0.770	720	18.9	16.170	0.770
750	19	15.015	0.770	750	18.9	16.170	0.770
780	19	15.015	0.770	780	18.9	16.170	0.770
810	19	15.015	0.770	810	18.9	16.170	0.770
840	19	15.015	0.770	840	18.9	16.170	0.770
870	19	15.015	0.770	870	18.9	16.170	0.770
900	19	15.015	0.770	900	18.9	16.170	0.770

Anexo K. Curva Voltaje-Tiempo del proceso de anodizado con cada uno de los tratamientos.



Anexo L. Variables codificadas.

Variables codificadas ecuación de predicción			
Tiempo [min]	Densidad de corriente [A/dm ²]	Concentración [molar]	Valor codificado
60	3	2	1
59	2.964	1.948	0.9536
58	2.908	1.931	0.9092
57	2.852	1.914	0.8648
56	2.796	1.897	0.8204
55	2.74	1.88	0.776
54	2.684	1.863	0.7316
53	2.628	1.846	0.6872
52	2.572	1.829	0.6428
51	2.516	1.812	0.5984
50	2.46	1.795	0.554
49	2.404	1.778	0.5096
48	2.348	1.761	0.4652
47	2.292	1.744	0.4208
46	2.236	1.727	0.3764
45	2.18	1.71	0.332
44	2.124	1.693	0.2876
43	2.068	1.676	0.2432
42	2.012	1.659	0.1988
41	1.956	1.642	0.1544
40	1.9	1.625	0.11
39	1.844	1.608	0.0656
38	1.788	1.591	0.0212
37	1.732	1.574	-0.0232
36	1.676	1.557	-0.0676
35	1.62	1.54	-0.112
34	1.564	1.523	-0.1564
33	1.508	1.506	-0.2008
32	1.452	1.489	-0.2452
31	1.396	1.472	-0.2896
30	1.34	1.455	-0.334
29	1.284	1.438	-0.3784
28	1.228	1.421	-0.4228
27	1.172	1.404	-0.4672
26	1.116	1.387	-0.5116
25	1.06	1.37	-0.556
24	1.004	1.353	-0.6004
23	0.948	1.336	-0.6448
22	0.892	1.319	-0.6892
21	0.836	1.302	-0.7336
20	0.78	1.285	-0.778
19	0.724	1.268	-0.8224
18	0.668	1.251	-0.8668
17	0.612	1.234	-0.9112
16	0.556	1.217	-0.9556
15	0.5	1.2	-1

Variables codificadas ecuaciones de regresión			
Tiempo [min]	Densidad de corriente [A/dm ²]	Concentración [molar]	Valor codificado
60	1.618	1.68	1
59	1.6	1.6708	0.9536
58	1.58225	1.6601	0.9092
57	1.5645	1.6494	0.8648
56	1.54675	1.6387	0.8204
55	1.529	1.628	0.776
54	1.51125	1.6173	0.7316
53	1.4935	1.6066	0.6872
52	1.47575	1.5959	0.6428
51	1.458	1.5852	0.5984
50	1.44025	1.5745	0.554
49	1.4225	1.5638	0.5096
48	1.40475	1.5531	0.4652
47	1.387	1.5424	0.4208
46	1.36925	1.5317	0.3764
45	1.3515	1.521	0.332
44	1.33375	1.5103	0.2876
43	1.316	1.4996	0.2432
42	1.29825	1.4889	0.1988
41	1.2805	1.4782	0.1544
40	1.26275	1.4675	0.11
39	1.245	1.4568	0.0656
38	1.22725	1.4461	0.0212
37	1.2095	1.4354	-0.0232
36	1.19175	1.4247	-0.0676
35	1.174	1.414	-0.112
34	1.15625	1.4033	-0.1564
33	1.1385	1.3926	-0.2008
32	1.12075	1.3819	-0.2452
31	1.103	1.3712	-0.2896
30	1.08525	1.3605	-0.334
29	1.0675	1.3498	-0.3784
28	1.04975	1.3391	-0.4228
27	1.032	1.3284	-0.4672
26	1.01425	1.3177	-0.5116
25	0.9965	1.307	-0.556
24	0.97875	1.2963	-0.6004
23	0.961	1.2856	-0.6448
22	0.94325	1.2749	-0.6892
21	0.9255	1.2642	-0.7336
20	0.90775	1.2535	-0.778
19	0.89	1.2428	-0.8224
18	0.87225	1.2321	-0.8668
17	0.8545	1.2214	-0.9112
16	0.83675	1.2107	-0.9556
15	0.819	1.2	-1

Anexo M. Tabla F de Fisher a un nivel de significancia del 0.05.

		$F_{0.05, v_1, v_2}$																			
		Grados de libertad del numerador (v_1)																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	50	75	100	∞
Grados de libertad del denominador (v_2)	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.3	250.1	251.1	251.8	252.6	253.0	254.3
	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.46	19.47	19.47	19.48	19.47	19.49	19.50
	3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.660	8.634	8.617	8.594	8.581	8.563	8.554	8.526
	4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.803	5.769	5.747	5.717	5.699	5.676	5.664	5.628
	5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.678	4.619	4.558	4.521	4.496	4.464	4.444	4.418	4.405	4.365
	6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.000	3.938	3.874	3.835	3.808	3.774	3.754	3.726	3.712	3.669
	7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.445	3.404	3.376	3.340	3.319	3.290	3.275	3.230
	8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.150	3.108	3.079	3.043	3.020	2.990	2.975	2.928
	9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.936	2.893	2.864	2.826	2.803	2.771	2.756	2.707
	10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.774	2.730	2.700	2.661	2.637	2.605	2.588	2.538
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.544	2.498	2.466	2.426	2.401	2.367	2.350	2.296	
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.328	2.280	2.247	2.204	2.178	2.142	2.123	2.066	
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.124	2.074	2.039	1.994	1.966	1.927	1.907	1.843	
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.165	2.089	2.007	1.955	1.919	1.872	1.842	1.801	1.779	1.711	
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.092	2.015	1.932	1.878	1.841	1.792	1.761	1.718	1.695	1.622	
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.003	1.924	1.839	1.783	1.744	1.693	1.660	1.614	1.589	1.509	
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.952	1.871	1.784	1.727	1.687	1.634	1.599	1.551	1.525	1.438	
75	3.968	3.119	2.727	2.494	2.337	2.222	2.134	2.064	2.007	1.959	1.884	1.802	1.712	1.653	1.611	1.555	1.518	1.466	1.437	1.338	
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.850	1.768	1.676	1.616	1.573	1.515	1.477	1.422	1.392	1.283	
∞	3.841	2.996	2.605	2.372	2.214	2.099	2.010	1.938	1.880	1.831	1.752	1.666	1.571	1.506	1.459	1.394	1.350	1.283	1.243	1.000	

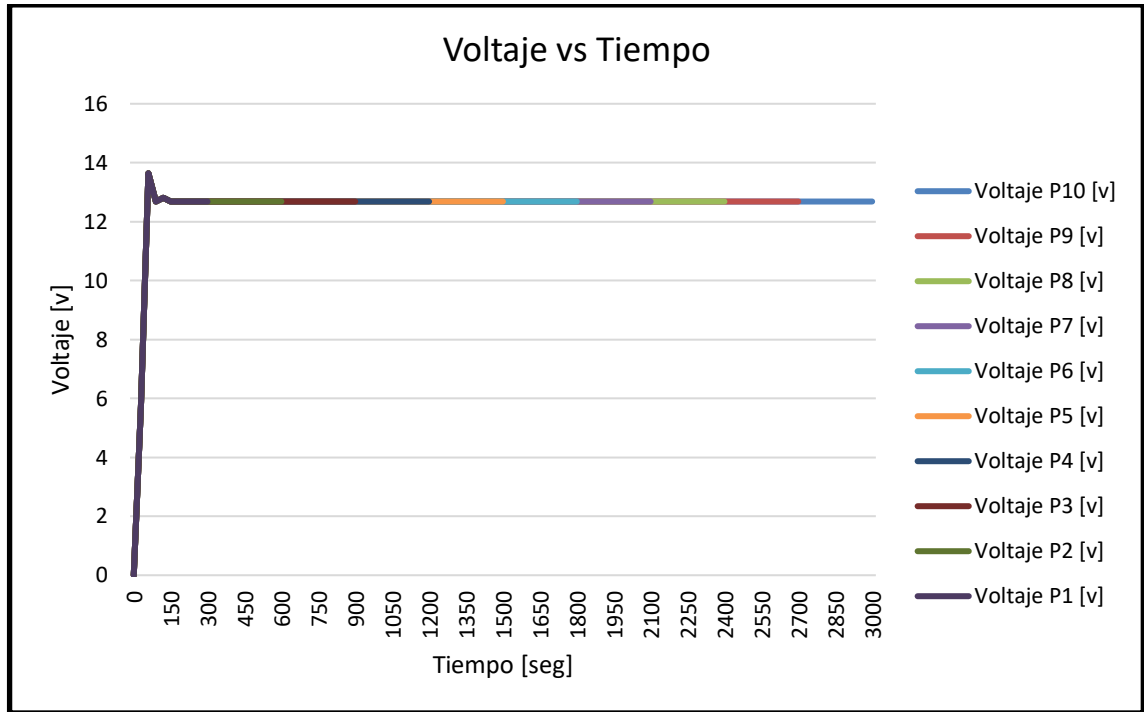
Anexo N. Valores monitoreados de tiempo, temperatura del electrolito, voltaje y corriente continua del proceso de anodizado realizado con las variables de operación de la empresa Electroquímica Recubrimientos.

Tabla de datos											
Prueba				Tiempo [s]	Temperatura del electrolito [°c]	Voltaje [v]	Corriente [A]				
Decima	Novena	Octava	Séptima	Sexta	Quinta	Cuarto	Tercera	0	19.3	0	0
								30	19.3	5.735	0.370
								60	19.3	13.640	0.880
								90	19.3	12.681	0.823
								120	19.3	12.815	0.832
								150	19.3	12.681	0.823
								180	19.3	12.681	0.823
								210	19.3	12.681	0.823
								240	19.3	12.681	0.823
								270	19.3	12.681	0.823
Segunda	primera	300	19.3	12.681	0.823						
		330	19.4	12.681	0.823						
		360	19.4	12.681	0.823						
		390	19.4	12.681	0.823						
		420	19.4	12.681	0.823						
		450	19.4	12.681	0.823						
		480	19.4	12.681	0.823						
		510	19.4	12.681	0.823						
		540	19.4	12.681	0.823						
		570	19.4	12.681	0.823						
Segunda	primera	600	19.4	12.681	0.823						
		630	19.5	12.681	0.823						
		660	19.5	12.681	0.823						
		690	19.5	12.681	0.823						
		720	19.5	12.681	0.823						
		750	19.5	12.681	0.823						
		780	19.5	12.681	0.823						
		810	19.5	12.681	0.823						
		840	19.5	12.681	0.823						
		870	19.5	12.681	0.823						
Segunda	primera	900	19.5	12.681	0.823						

				930	19.5	12.681	0.823
				960	19.5	12.681	0.823
				990	19.5	12.681	0.823
				1020	19.5	12.681	0.823
				1050	19.5	12.681	0.823
				1080	19.5	12.681	0.823
				1110	19.5	12.681	0.823
				1140	19.5	12.681	0.823
				1170	19.5	12.681	0.823
				1200	19.5	12.681	0.823
				1230	19.6	12.681	0.823
				1260	19.6	12.681	0.823
				1290	19.6	12.681	0.823
				1320	19.6	12.681	0.823
				1350	19.6	12.681	0.823
				1380	19.6	12.681	0.823
				1410	19.6	12.681	0.823
				1440	19.6	12.681	0.823
				1470	19.6	12.681	0.823
				1500	19.6	12.681	0.823
				1530	19.6	12.681	0.823
				1560	19.6	12.681	0.823
				1590	19.6	12.681	0.823
				1620	19.6	12.681	0.823
				1650	19.6	12.681	0.823
				1680	19.6	12.681	0.823
				1710	19.6	12.681	0.823
				1740	19.6	12.681	0.823
				1770	19.6	12.681	0.823
				1800	19.6	12.681	0.823
				1830	19.7	12.681	0.823
				1860	19.7	12.681	0.823
				1890	19.7	12.681	0.823
				1920	19.7	12.681	0.823
				1950	19.7	12.681	0.823
				1980	19.7	12.681	0.823
				2010	19.7	12.681	0.823
				2040	19.7	12.681	0.823
				2070	19.7	12.681	0.823
				2100	19.7	12.681	0.823

		2130	19.7	12.681	0.823
		2160	19.7	12.681	0.823
		2190	19.7	12.681	0.823
		2220	19.7	12.681	0.823
		2250	19.7	12.681	0.823
		2280	19.7	12.681	0.823
		2310	19.7	12.681	0.823
		2340	19.7	12.681	0.823
		2370	19.7	12.681	0.823
		2400	19.7	12.681	0.823
		2430	19.7	12.681	0.823
		2460	19.7	12.681	0.823
		2490	19.7	12.681	0.823
		2520	19.7	12.681	0.823
		2550	19.7	12.681	0.823
		2580	19.7	12.681	0.823
		2610	19.7	12.681	0.823
		2640	19.7	12.681	0.823
		2670	19.7	12.681	0.823
		2700	19.7	12.681	0.823
		2730	19.8	12.681	0.823
		2760	19.8	12.681	0.823
		2790	19.8	12.681	0.823
		2820	19.8	12.681	0.823
		2850	19.8	12.681	0.823
		2880	19.8	12.681	0.823
		2910	19.8	12.681	0.823
		2940	19.8	12.681	0.823
		2970	19.8	12.681	0.823
		3000	19.8	12.681	0.823

Anexo O. Curva Voltaje-Tiempo del proceso de anodizado realizado con las variables de operación de la empresa *Electroquímica Recubrimientos*.



Anexo P. Simulación en PVsyst del sistema GRID TIED.

PVSYST V6.87		09/08/20	Página 1/6
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación			
Proyecto : GRID TIE			
Sitio geográfico	ELECTROQUIMICA	País	Colombia
Ubicación	Latitud	7.12° N	Longitud -73.13° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud 936 m
	Albedo	0.20	
Datos meteorológicos:	ELECTROQUIMICA	PVGIS api TMY - TMY	
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
	Fecha de simulación	28/07/20 19h49	
Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación plano captador	Inclinación	10°	Acimut 0°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso Importado
Horizonte	Sin horizonte		
Sombreados cercanos	Sin sombreado		
Necesidades del usuario :	perfil diario	modulación semanal	
	media	10.0 kWh/Día	
Características del conjunto FV			
Módulo FV	Si-mono	Modelo	JKM 370M-72
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Jinkosolar
Número de módulos FV		En serie	7 módulos
		En paralelo	1 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	7
		Pnom unitaria	370 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	2590 Wp
		En cond. de funciona.	2348 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	256 V
		I mpp	9.2 A
Superficie total		Superficie módulos	13.6 m²
		Superficie célula	12.0 m²
Inversor		Modelo	Growatt 2500HF
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Growatt New Energy
Características		Voltaje de funcionam.	120-600 V
		Pnom unitaria	2.50 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	1 unidades
		Potencia total	2.5 kWac
		Relación Pnom	1.04
Factores de pérdida del conjunto FV			
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado	Res. global conjunto	468 mOhm	Fracción de pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas -0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas 1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas 0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo 0.05

Sistema Conectado a la Red: Necesidades detalladas del usuario

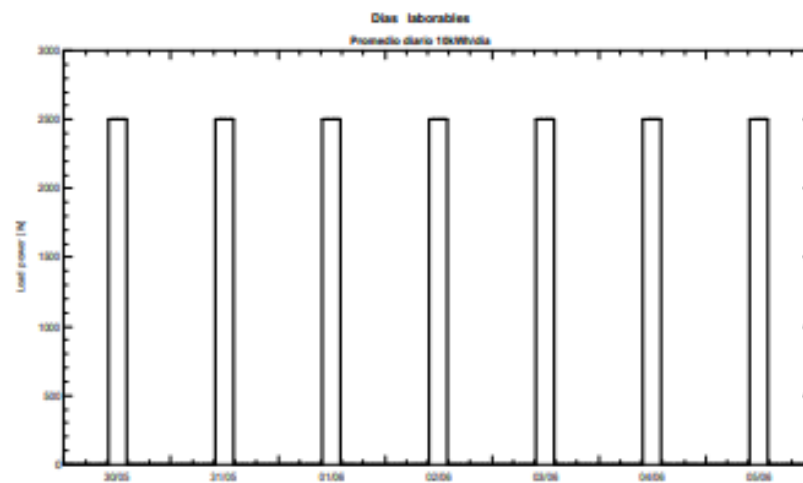
Proyecto : GRID TIE

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	JKM 370M-72	Pnom 370 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	7	Pnom total 2590 Wp
Inversor	Modelo	Growatt 2500HF	Pnom 2500 W ac
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global 3650 kWh/año

perfil diario, modulación semanal, media = 10.0 kWh/día

	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
Working days	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	2.50	kW
	2.50	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kW
Week-end	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	2.50	kW
	2.50	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kW



Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : GRID TIE

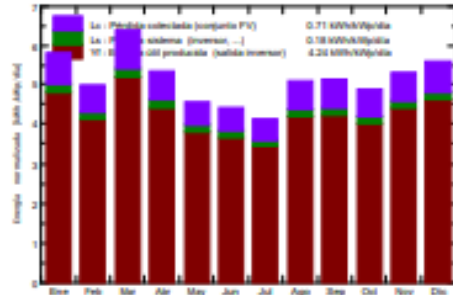
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados		
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKM 370M-72	Pnom	370 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	7	Pnom total	2690 Wp
Inversor	Modelo	Growatt 2500HF	Pnom	2500 W ac
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global	3650 kWh/año

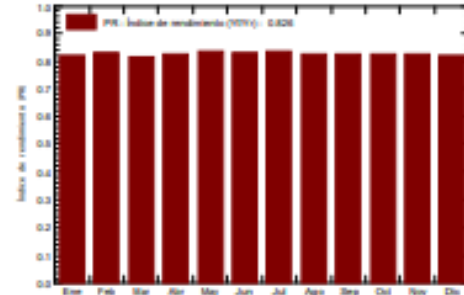
Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	Energía producida	4010 kWh/año	Produc. específica	1548 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.61 %	Fracción solar (SF)	58.82 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 2590 Wp



Índice de rendimiento (PR)

Nueva variante de simulación
Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
Enero	166.9	64.17	21.96	180.8	175.6	401.0	310.0	215.1	169.5	94.9
Febrero	133.6	72.29	21.92	139.3	134.8	312.6	280.0	161.3	138.5	118.7
Marzo	194.3	76.09	22.60	197.3	191.9	434.9	310.0	219.8	197.5	90.2
Abril	163.7	90.49	23.03	160.6	155.3	357.2	300.0	182.5	160.0	117.5
Mayo	147.6	91.62	22.66	141.2	135.8	318.6	310.0	162.3	143.0	147.7
Junio	140.2	82.31	22.08	132.1	126.9	297.8	300.0	148.3	136.8	151.7
Julio	134.0	88.21	22.79	127.5	122.4	288.1	310.0	141.1	134.6	168.9
Agosto	162.6	79.70	22.69	157.0	151.7	351.1	310.0	177.4	159.1	132.6
Septiembre	154.2	78.40	22.66	153.9	148.8	342.8	300.0	172.8	155.5	127.2
Octubre	146.5	80.83	22.22	151.0	146.2	337.7	310.0	178.9	144.3	131.1
Noviembre	150.0	73.84	22.13	159.7	154.7	356.5	300.0	189.0	152.7	111.0
Diciembre	158.9	62.11	22.20	173.8	168.5	385.7	310.0	198.4	171.6	111.6
Año	1852.5	940.05	22.41	1874.3	1812.7	4184.1	3650.0	2147.1	1863.1	1502.9

GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	T amb.	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobInc	Global incidente plano receptor	E_Solar	Energía del sol
		E_Grid	Energía inyectada en la red
		EFrGrid	Energía de la red

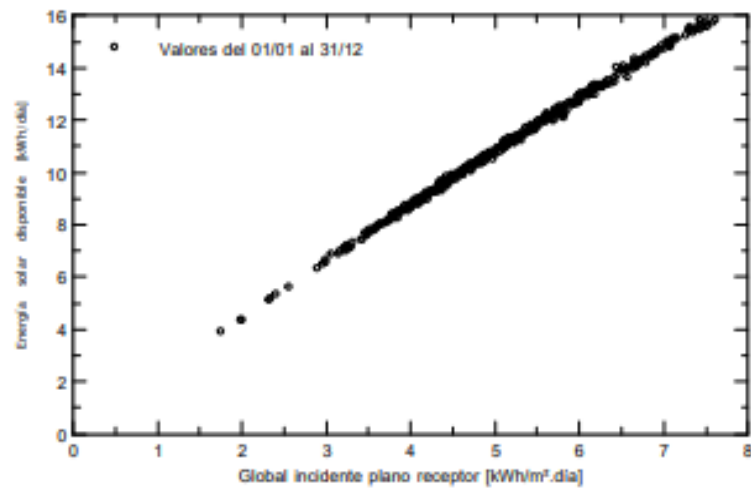
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : **GRID TIE**

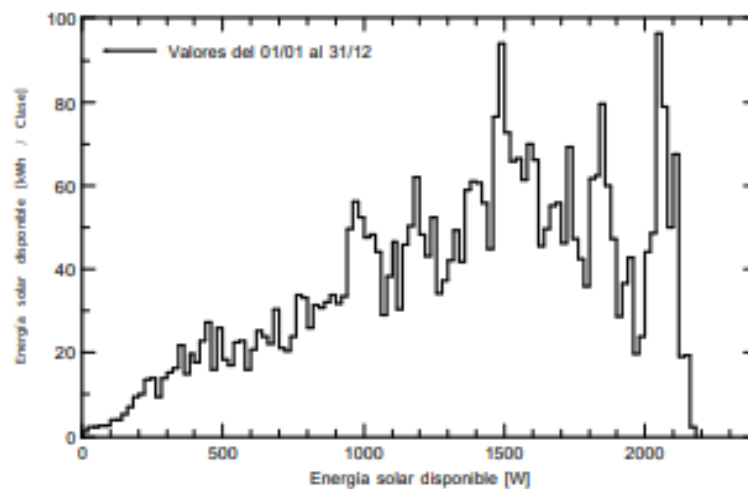
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	JKM 370M-72	Pnom 370 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	7	Pnom total 2590 Wp
Inversor	Modelo	Growatt 2500HF	Pnom 2500 W ac
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global 3650 kWh/año

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



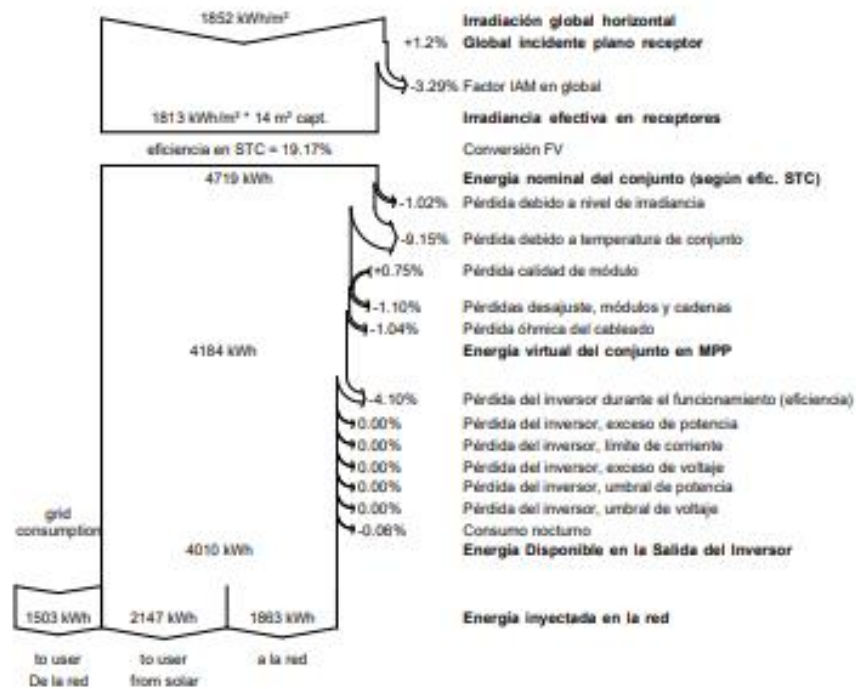
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **GRID TIE**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	JKM 370M-72	Pnom 370 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	7	Pnom total 2590 Wp
Inversor	Modelo	Growatt 2500HF	Pnom 2500 W ac
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global 3650 kWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año



Sistema Conectado a la Red: CO2 Balance

Proyecto : **GRID TIE**Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados		
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKM 370M-72	Pnom	370 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	7	Pnom total	2590 Wp
Inversor	Modelo	Growatt 2500HF	Pnom	2500 W ac
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global	3650 kWh/año

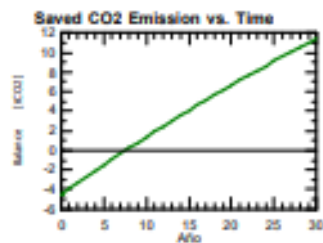
Produced Emissions **Total: 4.51 tCO2**
Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions **Total: 18.4 tCO2**
System production: 4010.12 kWh/año Lifetime: 30 years
Annual Degradation: 1.0 %
Grid Lifecycle Emissions: 153 gCO2/kWh
Source: IEA List Country: Colombia

CO2 Emission Balance **Total: 11.5 tCO2**

System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWp	1.82 kgCO2/kg
Quantity	2.59 kWp	70.0 kg
Subtotal [kgCO2]	4436	71.4

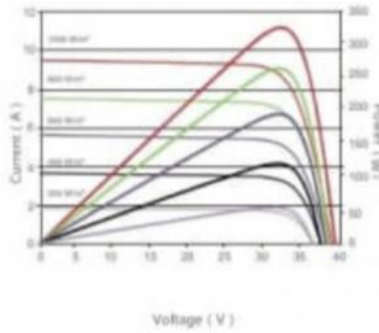


Anexo Q. Característica detallada y precio del panel solar Jinkosolar modelo JKM 370M-72.

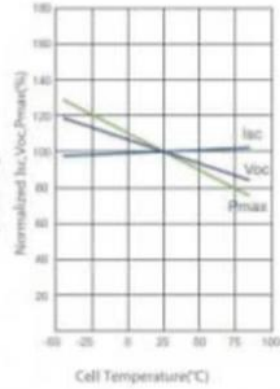
DC Electrical Characteristics	
STC Power Rating	370W
PTC Power Rating	341W ¹
STC Power per unit of area	17.4W/m ² (187.7W/m ²)
Peak Efficiency	18.77%
Power Tolerances	0%/+3%
Number of Cells	144
Nominal Voltage	not applicable
I _{mp}	9.28A
V _{mp}	39.9V
I _{sc}	9.81A
V _{oc}	48.5V
NOCT	45°C
Temp. Coefficient of I _{sc}	0.05%/K
Temp. Coefficient of Power	-0.37%/K
Temp. Coefficient of Voltage	-0.141V/K



Current-Voltage & Power-Voltage Curves (340W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



Mechanical Characteristics

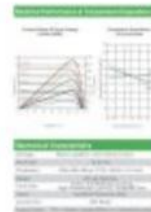
Cell Type	Mono-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	72 (6×12)
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	26.5 kg (58.4 lbs)
Front Glass	4.0mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm², Length:900mm or Customized Length

solartex

AGOTADO



Parameter	Value
Power (W)	340
Voltage (V)	18
Current (A)	19



Jinko Solar

★★★★★ (2 valoraciones de clientes)

\$ 494.000

Anexo R. Característica detallada y precio del inversor Growatt New ENERGY modelo Growatt 2500 Hf.

Datasheet	Growatt 2000HF	Growatt 2500HF	Growatt 3000HF
Input Data			
Max. DC power	2300W	2900W	3500W
Max. DC voltage	600V	600V	600V
Start voltage	150V	150V	150V
PV voltage range	100V - 600V	100V - 600V	100V - 600V
MPPT work voltage range /nominal voltage	120V - 600V/380V	120V - 600V/380V	120V - 600V/380V
Full load dc voltage range	195V - 480V	195V - 480V	250V - 480V
Number of independent MPP trackers/strings per MPP tracker	1 / 2	1 / 2	1 / 2
Max. input current/per string	12A / 12A	15A / 15A	15A / 15A
Output (AC)			
Rated AC output power	2000W	2500W	3000W
Max. AC power	2000W	2500W	3000W
Max. output current	10A	12A	14.3A
AC nominal voltage; range	220V,230V,240V; 180Vac-280Vac	220V,230V,240V; 180Vac-280Vac	220V,230V,240V; 180Vac-280Vac
AC grid frequency; range	50,60Hz;±5Hz	50,60Hz;±5Hz	50,60Hz;±5Hz
Power factor	>0.99	>0.99	>0.99
THDI	<3%	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase	Single phase
Efficiency			
Max. efficiency	96.5%	96.4%	96.3%
Euro - eta	95.5%	95.5%	95.5%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%	99.5%
Protection Devices			
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes
DC switch for each MPPT	yes	yes	yes
Output over current protection	yes	yes	yes
Output overvoltage protection-varistor	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes
Integrated all-pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes



★★★★★ (1 valoración de cliente)

\$ 3.192.000

Anexo S. Característica detallada y precio del regulador de carga Vitron Energy modelo Smart Charge solar controller Mppt 150/85.

SmartSolar Charge Controller	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)				
Rated charge current	45A	60A	70A	85A	100A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Nominal PV power, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Nominal PV power, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	50A (max 30A per MC4 conn.)				
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum				
Maximum efficiency	98%				
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V				
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)				
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)				
Charge voltage 'equalization'	Default setting: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (adjustable)				
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight preprogrammed algorithms) or user defined algorithm				
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature				
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)				
Humidity	95%, non-condensing				
Maximum altitude	5000m (full rated output up to 2000m)				
Environmental condition	Indoor, unconditioned				
Pollution degree	PD3				
Data communication port	VE.Direct or Bluetooth				
Remote on/off	Yes (2 pole connector)				
Programmable relay	DPST AC rating: 240VAC / 4A DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC				
Parallel operation	Yes (not synchronized)				
ENCLOSURE					
Colour	Blue (RAL 5012)				
PV terminals 3)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Two pairs of MC4 connectors (MC4 models)		35 mm ² / AWG2 (Tr models) Three pairs of MC4 connectors (MC4 models)		

Inicio > Controladores de carga > Controlador-VICTRON ENERGY-SmartSolar MPPT 150/85-Tr-Controlador de carga SmartSolar MPPT 150/85-TR



**Controlador-VICTRON ENERGY-SmartSolar MPPT 150/85-Tr-
Controlador de carga SmartSolar MPPT 150/85-TR**

\$2,194,592

[VER FICHA TÉCNICA >](#)

AGOTADO

Envío y Devolución

Categoría: Controladores de carga

Etiquetas: Energía Solar, Soluciones Energéticas, Tecnología Fotovoltaica, victron energy

[Contáctanos](#)

Anexo T. Valores de corriente continua en las 21 pruebas.

Minutos	MEDICION DE CORRIENTE CONTINUA [A] SALIDA RECTIFICADOR 21 PRUEBAS REALIZADAS.																				
	Me d 1	Me d 2	Me d 3	Me d 4	Me d 5	Me d 6	Me d 7	Me d 8	Me d 9	Me d 10	Me d 11	Me d 12	Me d 13	Me d 14	Me d 15	Me d 16	Me d 17	Me d 18	Me d 19	Me d 20	Me d 21
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	11 3.8	98. 0	12 5.2	13 5.1	16 4.5	18 0.5	18 0.3	17 1.1	16 0.8	153. 7	160. 6	172. 5	171. 1	155. 0	168. 7	165. 8	173. 8	172. 5	179. 8	141. 8	134. 2
6	11 4.4	11 3.3	12 5.6	13 5.7	16 4.7	18 0.9	18 1.0	17 1.1	16 0.4	153. 5	160. 5	172. 6	171. 8	156. 2	169. 0	165. 8	176. 3	174. 1	179. 7	142. 5	134. 3
9	11 7.5	11 1.6	12 4.9	13 6.3	16 6.9	18 1.1	18 2.4	17 1.5	16 0.6	154. 3	158. 5	172. 8	172. 2	157. 3	168. 9	166. 5	177. 2	174. 3	180. 3	142. 8	134. 8
12	11 6.8	11 1.5	12 4.5	13 8.4	16 6.9	18 1.1	18 2.6	17 1.9	16 1.5	154. 8	159. 0	173. 5	171. 8	156. 8	168. 8	167. 2	176. 0	174. 5	179. 6	143. 3	138. 0
15	11 6.7	11 0.5	12 4.5	13 8.3	16 4.6	17 9.6	18 2.8	17 2.2	16 1.4	150. 2	159. 7	169. 1	171. 5	157. 0	169. 0	165. 1	174. 0	174. 6	178. 8	143. 4	137. 3
18	11 2.3	10 8.7	12 4.4	13 8.3	16 3.9	17 8.0	18 2.9	17 2.3	16 1.5	150. 2	158. 5	169. 2	170. 6	156. 0	169. 1	164. 2	172. 7	174. 5	180. 4	141. 7	134. 8
21	11 3.2	10 9.6	12 4.6	13 5.4	16 3.5	17 7.7	18 3.1	17 3.0	15 9.8	150. 4	158. 5	169. 2	170. 6	153. 7	167. 4	164. 4	172. 8	174. 3	178. 4	141. 9	134. 6
24	11 3.7	11 0.2	12 4.1	13 4.6	16 3.7	17 7.8	18 3.3	17 2.2	15 8.6	150. 5	158. 7	169. 2	170. 6	154. 7	167. 6	164. 8	172. 8	174. 0	178. 1	140. 9	135. 3
27	11 4.3	11 0.3	12 4.2	13 5.1	16 3.7	17 7.8	18 2.8	17 2.9	15 8.7	150. 8	158. 5	169. 1	170. 6	154. 9	167. 3	164. 7	173. 0	173. 0	177. 3	140. 9	136. 0
30	11 4.1	11 0.2	12 4.1	13 5.2	16 3.8	17 7.9	17 8.9	17 3.2	15 5.9	150. 8	159. 0	169. 2	170. 8	155. 0	167. 1	164. 9	172. 9	173. 3	177. 6	141. 0	137. 6
33	11 3.6	10 9.9	12 4.5	13 5.1	16 3.7	17 8.1	17 7.5	17 0.6	15 8.8	150. 8	158. 8	169. 4	170. 9	154. 6	167. 3	165. 2	173. 5	173. 0	178. 1	140. 6	136. 2
36	11 3.9	10 9.7	12 4.4	13 5.1	16 3.8	17 7.9	17 7.6	16 8.5	15 9.4	151. 1	159. 0	169. 6	170. 6	154. 6	167. 6	165. 1	172. 9	173. 2	178. 2	140. 7	135. 0

39	11 3.7	11 0.1	12 4.4	13 5.1	16 3.8	17 8.0	17 7.6	16 8.1	15 9.3	150. 8	159. 3	169. 0	170. 8	154. 6	167. 4	165. 2	172. 1	173. 5	178. 2	140. 6	135. 4	Corriente máxima		
42	11 4.9	10 9.4	12 4.3	13 4.6	16 3.8	17 8.1	17 7.8	16 8.3	15 9.3	150. 8	158. 8	169. 1	170. 4	154. 7	167. 6	165. 2	172. 4	173. 0	178. 5	141. 1	138. 0	183. 3	A	
45	11 3.5	10 9.2	12 4.5	13 1.4	16 3.8	17 8.0	17 8.0	16 8.1	16 1.4	150. 8	158. 9	169. 7	170. 1	154. 7	167. 6	165. 4	173. 3	173. 0	178. 5	141. 2	136. 2	Corriente Promedio		
48	11 3.9	11 0.1	12 0.0	13 4.6	16 3.6	17 0.0	17 7.8	16 7.3	15 9.3	151. 0	159. 1	169. 4	169. 0	154. 9	167. 6	165. 5	173. 1	173. 8	178. 2	141. 1	136. 2	156. 2	A	
51	11 3.3	11 0.0	12 0.0	13 4.5	16 3.7	17 0.0	17 7.8	16 6.9	15 9.0	151. 2	159. 0	170. 5	170. 9	154. 7	167. 8	165. 5	173. 0	173. 9	0.0	141. 1	136. 4	Densidad		
54	11 3.9	11 0.3	12 0.0	13 0.0	16 3.8	17 0.0	17 7.6	16 7.1	15 8.9	151. 1	159. 1	169. 9	171. 0	0.0	167. 3	165. 5	172. 6	0.0	0.0	141. 3	136. 0	166. 2	A/m ²	
57	0.0	11 0.2	12 0.0	13 0.0	16 3.7	17 0.0	17 8.0	16 7.1	16 2.1	151. 3	158. 8	0.0	171. 0	0.0	167. 4	165. 4	173. 0	0.0	0.0	141. 2	0.0	Área		
60	0.0	0.0	0.0	0.0	16 3.6	17 0.0	17 0.0	16 0.0	16 0.0	151. 3	158. 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.94	m ²
pro m	11 4.3	10 9.6	12 4.5	13 5.5	16 4.2	17 8.8	18 0.0	17 0.2	15 9.8	151. 5	159. 1	170. 2	170. 9	155. 3	167. 9	165. 3	173. 5	173. 7	178. 7	141. 5	135. 9			

Anexo U. Característica detallada y precio de la batería Leoch battery modelo LPG series Gel.



LEOCH
理士電池®
Leoch Battery

LPG SERIES-GEL Battery

LPG12-200 (12V200AH)

Specification	
Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity(20HR)	200.0AH
Dimension	Length 522 ± 3mm (20.55 inches)
	Width 240 ± 3mm (9.45 inches)
	Container Height 218 ± 3mm (8.58 inches)
	Total Height (with Terminal) 224 ± 3mm (8.81 inches)
Approx Weight	Approx 62.9 kg (138.7lbs)
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	200.0 AH/10.0A (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	186.0 AH/18.6A (10hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	160.0 AH/32.0A (5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	139.2 AH/46.4A (3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	110.0 AH/110.0A (1hr, 1.67V/cell, 25°C/77°F)
Max. Discharge Current	1800A (5s)
Internal Resistance	Approx 3.24mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -20 ~ -55°C (-4 ~ -131°F)
	Charge : 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)
	Storage : -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 50.0A. Voltage 14.4V-15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C
	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V-13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%
	25°C (77°F) 100%
	0°C (32°F) 86%



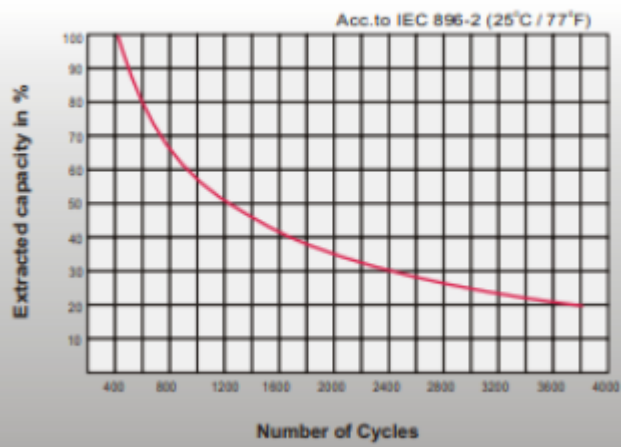
Applications

- ◆ Telecommunications
- ◆ Solar system
- ◆ Wind power system
- ◆ Wheelchair
- ◆ Floor cleaning machines
- ◆ Golf trolley
- ◆ Boats

VdS	Intertek ETL SEMKO	
------------	---------------------------	---

Leoch LPG series batteries may be stored for up to 9 months

Cycle Life in Relation to Depth of Discharge




Bateria-LEOCH-LPG 12-200 (12V 200 AH)-LPG SERIES – GEL BATTERY

\$1,431,856

**Anexo V. Característica detallada y precio del inversor híbrido (inversor-cargador)
 Vitron Energy modelo Smart Charge solar controller Mppt 150/85.**

MODEL	5KW
RATED OUTPUT POWER	5000 W
PV INPUT (DC)	
Max. Potencia PV	6000W
Max. Arreglo de voltaje en circuito abierto PV	145 VDC
Rango MPPT @ Voltaje de Operación	60 VDC-115 VDC
Numero de rastreadores de MPP	2
OPERACION GRID-TIE	
GRID OUTPUT (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Rango de alimentación de voltaje en la Red	195.5-253 VAC @India regulation
	184 ~ 264.5 VAC @Germany regulation
	184-264.5VAC @ South America regulation
Rango de alimentación de Frecuencia en la Red	49-51Hz @India regulation
	47.5-51.5Hz @Germany regulation
	57-62Hz @ South America regulation
Corriente nominal a la salida	21.7A
Factor de Potencia	>=0.99
Eficiencia máxima de conversión (DC/AC)	90%
OFF-GRID, OPERACION HIBRIDA	
Entrada Red	
Rango de voltaje a la entrada	90 - 280 VAC or 170 - 290 VAC
Rango de Frecuencia	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
Rating of AC Transfer Relay	40A
Modo Batería (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Tipo de Onda	Onda sinusoidal pura
Eficiencia (DC/AC)	93%
Baterías y Cargador	
Voltaje nominal en DC	48VDC
Máxima Corriente del Cargador (from Grid)	60A
Máxima Corriente del Cargador (from PV)	120A
Máxima Corriente del Cargador	180A
GENERAL	
Dimensiones Largo * Ancho * Alto (mm)	190 * 295 * 483
Peso (Kg.)	16



Especificaciones Técnicas	
MODEL	5KW
RATED OUTPUT POWER	5000 W
PV INPUT (DC)	
Max. Potencia PV	6000W
Max. Arreglo de voltaje en circuito abierto PV	145 VDC
Rango MPPT @ Voltaje de Operación	60 VDC-115 VDC
Numero de rastreadores de MPP	2
OPERACION GRID-TIE	
GRID OUTPUT (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Rango de alimentación de voltaje en la Red	195.5-253 VAC @India regulation
	184 ~ 264.5 VAC @Germany regulation
	184-264.5VAC @ South America regulation
Rango de alimentación de Frecuencia en la Red	49-51Hz @India regulation
	47.5-51.5Hz @Germany regulation
	57-62Hz @ South America regulation
Corriente nominal a la salida	21.7A
Factor de Potencia	>=0.99
Eficiencia máxima de conversión (DC/AC)	90%
OFF-GRID, OPERACION HIBRIDA	
Entrada Red	
Rango de voltaje a la entrada	90 - 280 VAC or 170 - 290 VAC
Rango de Frecuencia	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
Rating of AC Transfer Relay	40A
Modo Batería (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Tipo de Onda	Onda sinusoidal pura
Eficiencia (DC/AC)	93%
Baterías y Cargador	
Voltaje nominal en DC	48VDC
Máxima Corriente del Cargador (from Grid)	60A
Máxima Corriente del Cargador (from PV)	120A
Máxima Corriente del Cargador	180A
GENERAL	
Dimensiones Largo * Ancho * Alto (mm)	190 * 295 * 483
Peso (Kg.)	16

Nuevo

**Inversor Powest Solar -
 Cargador Mppt -ups 5kva ,
 220v Ac**

\$ 5.595.990

Stock disponible

Anexo W. Cálculo de protecciones.

240-6. Corrientes nominales normalizadas.

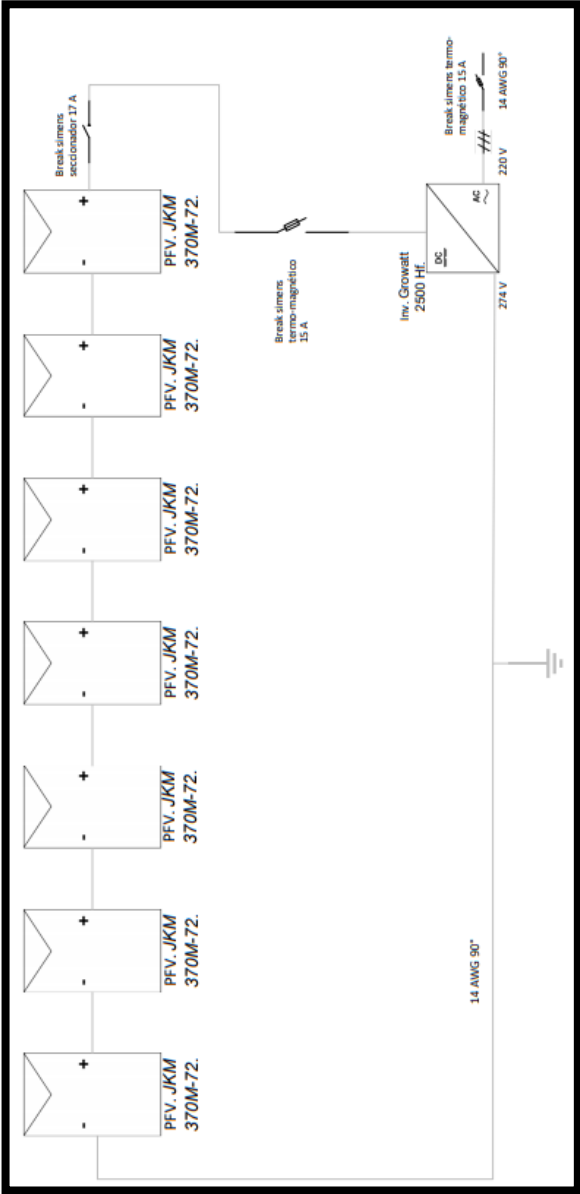
a) **Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo.** Las capacidades de corrientes nominales estándar de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1 000, 1 200, 1 600, 2 000, 2 500, 3 000, 4 000, 5 000 y 6 000 A. Además, se tienen valores nominales de 16, 63, 160, 630 y 1 250 A, para los cuales los conectores deben ser adecuados para la sección transversal en mm² (calibre AWG) de los conductores inmediatamente superiores que se vayan a conectar

Excepción. Como corrientes normalizadas de los fusibles también se tienen: 1, 3, 6, 10 y 601 A.

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,ML,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO 9 ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	185	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
780,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

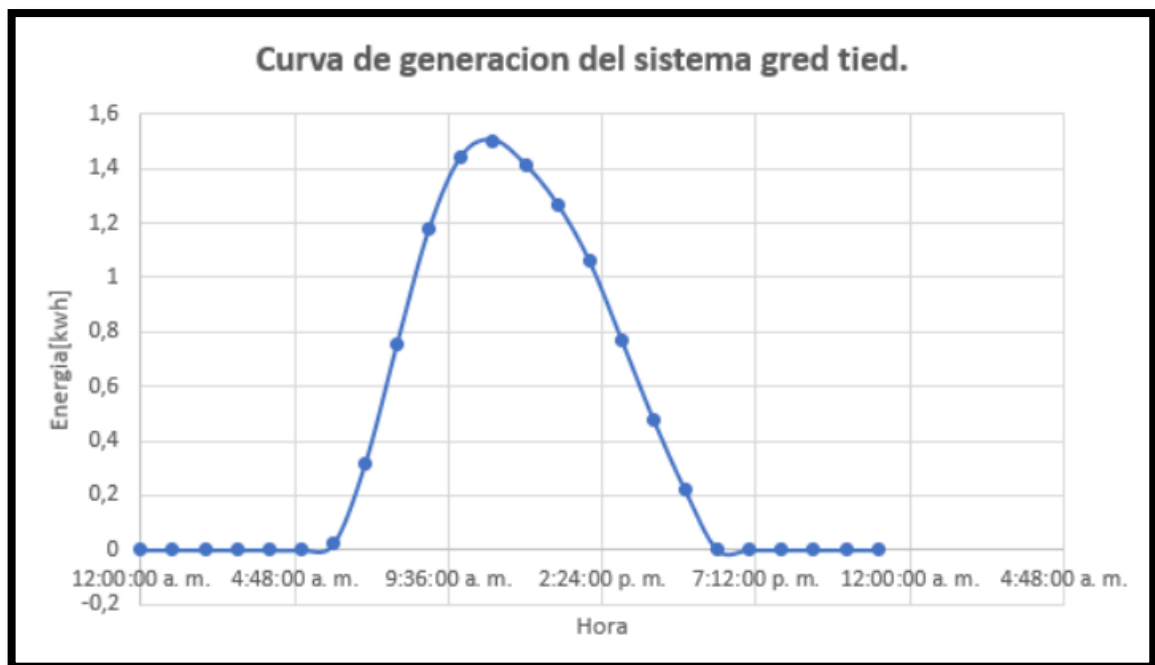
Anexo X. Diagrama del sistema GRID TIED.



Anexo Y. Inversión inicial del sistema GRID TIED.

Inversion inicial				
Descripcion	precio unit	unidad	cantidad	Total
paneles	\$ 499.000	unidad	7	\$ 3.493.000
inversor	\$ 3.192.000	unidad	1	\$ 3.192.000
contador bidireccional	\$ 831.000	unidad	1	\$ 831.000
breaker ac	\$ 16.000	unidad	1	\$ 16.000
Break dc	\$ 16.000	unidad	1	\$ 16.000
breaker seccionador	\$ 32.000	unidad	1	\$ 32.000
cabledo paneles-inversor	\$ 5.200	metros	15	\$ 78.000
cable inversor-red	\$ 5.200	meros	8	\$ 41.600
Estructura paneles	664.448	unidad	1	\$ 664.448
Instalacion(mano de obra)	\$ 32.000	dia	6	\$ 192.000
otros	\$ 440.000	unidad	1	\$ 440.000
Total				\$ 8.996.048
valor a depreciar				\$ 7.699.600

Anexo Z. Curva de generación y datos de exportación del sistema.



Hora	irradiancia pr	generacion	trabajando	Exporta
12:00:00 a. m.	0	0	No	0
1:00:00 a. m.	0	0	No	0
2:00:00 a. m.	0	0	No	0
3:00:00 a. m.	0	0	No	0
4:00:00 a. m.	0	0	No	0
5:00:00 a. m.	0	0	No	0
6:00:00 a. m.	9,474166667	0,020121	No	0,020121
7:00:00 a. m.	149,02	0,316489	Si	0
8:00:00 a. m.	357,1358333	0,758485	Si	0
9:00:00 a. m.	555,8266667	1,180465	Si	0
10:00:00 a. m.	680,3025	1,444826	Si	0
11:00:00 a. m.	707,8166667	1,503261	Si	0
12:00:00 p. m.	665,2383333	1,412833	No	1,412833
1:00:00 p. m.	597,0533333	1,268022	Si	0
2:00:00 p. m.	498,8566667	1,059472	Si	0
3:00:00 p. m.	363,5275	0,77206	Si	0
4:00:00 p. m.	225,3441667	0,478586	Si	0
5:00:00 p. m.	102,3408333	0,217351	media hora	0,108676
6:00:00 p. m.	0,156666667	0,000333	No	0
7:00:00 p. m.	0	0	No	0
8:00:00 p. m.	0	0	No	0
9:00:00 p. m.	0	0	No	0
10:00:00 p. m.	0	0	No	0
11:00:00 p. m.	0	0	No	0
Total	4912,093333	10,4323		1,54163