

Universidad Católica De Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica**



**“Diseño de un Sistema Scada para el Modulo Reactor Vertical de Lecho
Fluidizado Diseñado en el Laboratorio de Investigación de Materiales de
la Universidad Católica de Santa María”**

Tesis presentada por el bachiller:

Zegarra Silva, Carlos Enrique

Para optar al Título Profesional:

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Mestas Ramos, Sergio

Arequipa - Perú

2018

DEDICATORIA

Para:

Dios, por haberme acompañado siempre, haberme dado la fortaleza para superar todos los obstáculos, y haberme dado salud para permitirme siempre seguir adelante.

Mis padres por brindarme todo el apoyo que necesite a lo largo de toda mi vida para siempre sobreponerme a los problemas, buscarles una solución y superarlos, por su inagotable amor que me ayudo a entender que la mejor solución es continuar y luchar por hacer las cosas cada vez mejor para mí y para las personas que me rodean.

Mi hermano, que me enseñó que si cometo algún error yo tengo toda la capacidad para hacerle frente y superarlo porque si te lo propones y te esfuerzas todo lo puedes conseguir.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su incansable apoyo en los momentos más complicados de mi vida tanto académica como personal, por confiar y creer siempre en mi e impulsarme a lograr cada objetivo que me he planteado.

Agradezco a mis profesores que me dotaron de conocimiento suficiente para salir adelante en mis proyectos y en todo aspecto profesional.

Agradezco al equipo del Laboratorio de Investigación de Ciencia de los Materiales de la Universidad Católica de Santa María por dejarme ser parte de ellos y compartir sus conocimientos y experiencia conmigo.

Y agradezco a todas aquellas personas que a lo largo de todo el proceso para llegar hasta aquí me han acompañado y apoyado de todas las maneras posibles para permitirme seguir avanzando y mejorar como persona y estudiante.

RESUMEN

Los sistemas que requieren de una sincronía de procesos o poseen una gran cantidad de valores a controlar requieren de un programa que pueda juntar todo esto en una interfaz amigable y sencilla para el control de los procesos llamado sistema SCADA.

El presente trabajo consiste en el desarrollo de una aplicación que permite controlar todas las variables de un módulo para la producción de nano estructuras a base de carbono, utilizando un reactor vertical de lecho fluidizado diseñado en el laboratorio de investigación de materiales por medio de la interfaz del software de control LabVIEW.

El módulo diseñado consta de una etapa de dosificación por volumen, una etapa de activación del catalizador, una etapa de reacción y una final de almacenamiento. En todas estas etapas se requiere un control de la dosificación, de los flujos másicos de gases y su presión, control de temperatura por medio de controladores en los reactores y de termocuplas auxiliares para la etapa de reacción como para la etapa de almacenamiento.

Palabras clave: SCADA, reactor de lecho fluidizado, HMI, LabVIEW.

ABSTRACT

Systems that require a synchronization of processes or have a large number of values to control require a program that can put all this together in a friendly and simple interface for the control of processes called the SCADA system.

The present project consists in the development of an application that allows to control all the variables of a module for the production of carbon-based nano structures, using a vertical fluidized bed reactor designed in the materials research laboratory through the interface of LabVIEW control software.

The designed module consists of a volume dosing step, a catalyst activation stage, a reaction stage and a storage end. In all these stages a control of the dosage, of the mass flows of gases and their pressure is required, temperature control by means of controllers in the reactors and of auxiliary thermocouples for the reaction stage as for the storage stage.

Keywords: SCADA, fluidized bed reactor, HMI, LabVIEW.

INTRODUCCION

Actualmente la producción, estudio y aplicación de las nano estructuras a base de carbono son uno de los temas con mayor desarrollo en el área de investigación de materiales, así como la búsqueda de procesos que permitan su producción en mayor escala y reduciendo al máximo la contaminación que pueda existir producto de su generación.

De esta manera en el Laboratorio de Investigación de Ciencias de Materiales de la Universidad Católica de Santa María se desarrolló el diseño de un sistema que permite la producción de nano estructuras a base de carbono por el método de Deposición Química de Vapor (CVD) en una mayor escala, en una producción por lote haciendo uso de un reactor vertical de lecho fluidizado en dos etapas, uno para la reacción propiamente dicha y otro de menores dimensiones para la activación y preparación del catalizador a utilizar.

Debido a que este proyecto en cuestión requiere de un monitoreo constante, así como de la sincronización correcta para realizar todos los procesos anteriores a la reacción, así como su posterior almacenaje, se diseñará un sistema SCADA que permita una comunicación sencilla entre el operador y el proceso de producción. Adicionalmente al control y la sincronización de los procesos se requiere visualizar los parámetros actuales, así como almacenarlos para su posterior estudio de parámetros y procedimiento.

Actualmente los sistemas SCADA permiten el control en tiempo real de los procesos, así como la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos además de brindarnos la posibilidad de establecer “set-points” que permitirán realizar ensayos diferentes y variar los parámetros de todo tipo de procesos, así como adicionalmente poder generar alertas y reportes de los acontecimientos extraordinarios que hayan podido suscitarse a lo largo del ensayo.

Para cumplir con estos objetivos planteados se presentarán 5 capítulos.

En el capítulo I, se definen los objetivos generales y específicos, se presenta la descripción del problema, la justificación, los antecedentes y los alcances de la tesis.

En el capítulo II, se presentan los conceptos, definiciones y fundamentos que serán desarrollados a lo largo de la tesis.

En el capítulo III, se describe el sistema principal sobre el cual se desarrollará la tesis, la descripción detallada de todos los procesos y subprocesos, así como de los instrumentos a utilizar.

En el capítulo IV, se detalla el proceso de desarrollo del sistema de comunicación, de la creación de la interfaz y del desarrollo de cada sección de funcionamiento.

En el capítulo V, se muestran los resultados de las pruebas realizadas y el detalle de consideraciones a tomar en cuenta para su futura implementación y mejoras.

En el capítulo VI, se desarrollan las conclusiones y recomendaciones relacionadas a todo el trabajo de tesis desarrollado a lo largo del documento.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCION	v
TABLA DE CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xiii
CAPITULO I MARCO METODOLOGICO	1
1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO	3
1.4. ALCANCES.....	4
1.5. ANTECEDENTES.....	4
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1. NANO FIBRAS DE CARBONO	7
2.2. APLICACIONES DE LAS NANOESTRUCTURAS DE CARBONO.....	8
2.2.1. APLICACIONES ELÉCTRONICAS.....	9
2.2.2. APLICACIONES EN BIOTECNOLOGÍA Y QUÍMICA.....	11
2.2.3. APLICACIONES ENERGÉTICAS.....	11
2.3. REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO	14
2.4. SISTEMA SCADA	15

2.4.1.	FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA	16
2.5.	LABVIEW.....	17
2.5.1.	VENTAJAS DE LABVIEW	18
2.6.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	19
2.6.1.	ESTANDAR RS-232.....	19
2.6.2.	ESTÁNDAR RS-485.....	20
2.7.	COMUNICACIÓN AIBUS.....	21
2.8.	MODELO OSI	22
2.8.1.	CAPAS DEL MODELO OSI.....	23
2.9.	MICROSOFT OFFICE.....	26
2.9.1.	MICROSOFT EXCEL	26
2.9.2.	MICROSOFT WORD	26
CAPITULO III DESCRIPCION DEL SISTEMA SCADA.....		27
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	27
3.1.1.	SUBSISTEMA DE ACTIVACIÓN DEL CATALIZADOR.....	28
3.1.2.	SUBSISTEMA DE REACCIÓN.....	30
3.1.3.	SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	33
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS CONTROLADORES Y DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS 34	
3.2.1.	CONTROLADORES DE FLUJO MÁSSICO Y PRESIÓN	34
3.2.2.	CONTROLADORES DE TEMPERATURA	35
3.2.3.	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS USB NIDAQ6001	36
3.3.	CONSIDERACIONES PARA SU COMUNICACIÓN CON LABVIEW	36
3.3.1.	INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON ALICAT.....	36
3.3.2.	INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON YUDIAN	37
3.3.3.	INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON NIDAQ6001.....	37

CAPITULO IV DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA.....	39
4.1. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	39
4.2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LOS CONTROLADORES.....	40
4.2.1. INICIO DE SECUENCIA EN CONTROLADORES DE TEMPERATURA YUDIAN 40	
4.2.2. INICIO DE SECUENCIA EN CONTROLADORES DE FLUJO MÁSCO Y PRESIÓN ALICAT SCIENTIFIC.....	45
4.2.3. INICIO DE LA COMUNICACIÓN DE CONTROLADORES CON LABVIEW.....	46
4.3. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA	57
4.4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS	60
4.5. ORDEN DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.....	63
4.6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	64
4.6.1. ESTABLECER VALORES A LOS CONTROLADORES YUDIAN.....	64
4.6.2. CONTROL DE LOS CONTROLADORES ALICAT	66
4.6.3. INICIAR LA EJECUCIÓN	67
CAPITULO V SIMULACIÓN DEL SISTEMA SCADA	69
5.1. CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.....	69
5.2. SIMULACIÓN DEL PROCESO	70
5.3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA SCADA.....	81
5.4. PRESUPUESTO	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	89

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Nanofibra de carbono obtenida de CO₂</i>	8
<i>Figura 2: CVD de Lecho Fluidizado</i>	15
<i>Figura 3: Esquema de un sistema SCADA</i>	16
<i>Figura 4: Logo LabVIEW</i>	18
<i>Figura 5: Conector serial tipo D9 para comunicaciones RS-232</i>	20
<i>Figura 6: Adaptador de RS-485 a USB tipo D</i>	21
<i>Figura 7: Capas del modelo OSI</i>	23
<i>Figura 8: Logo de la suite de Microsoft Office</i>	26
<i>Figura 9: Imagen referencial del diseño del modulo</i>	27
<i>Figura 10: Imagen referencial de la cámara de activación para el catalizador</i>	28
<i>Figura 11: Imagen referencial del reactor principal</i>	31
<i>Figura 12: Imagen referencial del sistema de almacenamiento</i>	33
<i>Figura 13: Controladores de Flujo másico y Presión</i>	35
<i>Figura 14: Controlador de temperatura Yudian AI708</i>	35
<i>Figura 15: Dispositivo multifunción NIDAQ6001</i>	36
<i>Figura 16: Panel Frontal de un controlado Yudian AI</i>	41
<i>Figura 17: Módulo de comunicación para controladores Yudian</i>	42
<i>Figura 18: Abriendo el controlador</i>	42
<i>Figura 19: Retirando el panel frontal del controlador</i>	43
<i>Figura 20: Sección de módulos con el módulo de comunicación colocado</i>	44
<i>Figura 21: Controlador Yudian</i>	44
<i>Figura 22: Parte posterior del controlador de temperatura AI708</i>	45
<i>Figura 23: Entrada estándar MiniDIN 8</i>	45
<i>Figura 24: Alicat SerialTerminal.exe</i>	46
<i>Figura 25: SubVI para realizar la lectura del controlador</i>	50
<i>Figura 26: SubVI para realizar la escritura del controlador</i>	50
<i>Figura 27: SubVI para iniciar la ejecución del programa en el controlador</i>	51
<i>Figura 28: SubVI para detener la ejecución del programa en el controlador</i>	52
<i>Figura 29: SubVI para leer la información brindada por el controlador</i>	52
<i>Figura 30: SubVI para escribir Setpoint en el controlador</i>	53

<i>Figura 31: SubVI para separar el contenido de la cadena recibida y mostrarla como cadena de caracteres</i>	<i>53</i>
<i>Figura 32: Estructura secuencial para los controladores</i>	<i>54</i>
<i>Figura 33: Inicializar el asistente para DAQ de LabVIEW.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 34: Pantalla inicial del asistente para DAQ.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 35: Selección de los puertos a utilizar</i>	<i>56</i>
<i>Figura 36: Secuencia que permite la adquisición de datos</i>	<i>57</i>
<i>Figura 37: Sección que permite programar los controladores de temperatura</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38: Sección para supervisar los controladores de flujo y presión del reactor secundario.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 39: Sección para supervisar los controladores de flujo y presión del reactor principal</i>	<i>59</i>
<i>Figura 40: Sección para supervisar la temperatura en cada una de las termocuplas auxiliares.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 41: Sección que se encarga del almacenamiento de datos y su orden por medio de encabezados.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 42: Sección que se encarga del almacenamiento de reportes.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 43: Menú de Generación de Reportes de LabVIEW</i>	<i>63</i>
<i>Figura 44: Menú desplegado del Report Generation Toolkit</i>	<i>63</i>
<i>Figura 45: Esquema de ejecución de la aplicación.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 46: Sección para establecer los valores al controlador.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 47: Programar datos de temperatura y tiempo en los controladores</i>	<i>65</i>
<i>Figura 48: Grafica para el reactor secundario</i>	<i>65</i>
<i>Figura 49: Grafica para el reactor principal.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 50: Sección del controlador Alicat.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 51: Botones principales del proceso.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 52: Interfaz desarrollada para el programa de simulación</i>	<i>72</i>
<i>Figura 53: Luz encendida para confirmar la subida de parámetros al controlador de temperatura.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 54: Interfaz de simulación en ejecución.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 55: Interfaz del programa completo para el módulo diseñado</i>	<i>74</i>
<i>Figura 56: Interfaz de simulación en ejecución.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 57: Interfaz con el led encendido que confirma la carga a Excel.....</i>	<i>76</i>

<i>Figura 58: Primera captura de Excel</i>	76
<i>Figura 59: Segunda captura de Excel</i>	76
<i>Figura 60: Interfaz de simulación antes de ser detenido</i>	77
<i>Figura 61: Archivo de generación de reportes en Word</i>	78
<i>Figura 62: Código en lenguaje G del programa principal</i>	79
<i>Figura 63: Código en lenguaje G del programa para la simulación</i>	80



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Aplicaciones electrónicas de los nanotubos de carbono.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2: Aplicaciones en instrumentación de los nanotubos de carbono.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3: Estructura de datos del controlador Yudian.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4: Parámetro de dirección del controlador Yudian</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5: Comparación entre el módulo diseñado y el utilizado para la simulación.....</i>	<i>71</i>



CAPITULO I

MARCO METODOLOGICO

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En un proceso de desarrollo e investigación de nuevos materiales existe siempre la necesidad de poder monitorear tanto en tiempo real como en procesos anteriormente realizados la mayor cantidad de parámetros utilizados en cada uno de los sistemas del proceso, así como en el procedimiento mismo, por lo cual es necesario la existencia de un sistema de adquisición de datos que permita muestrear los parámetros constantemente. Adicionalmente a esto cuando el proceso para la elaboración de materiales es por demás compleja se necesita un control sincronizado que de manera automática realice todos los cambios que el procedimiento requiere para evitar variaciones en los tiempos para cambiar los parámetros entre diversos ensayos realizados.

Es por esto que en el Laboratorio de Investigación de Ciencias de los Materiales se desea del diseño de un sistema SCADA para el monitoreo de todos los parámetros que existan, y principalmente para la futura implementación de un módulo de Reactor Vertical en dos etapas ya que se requiere de alta sincronía, así como de la adquisición, la supervisión y variación de diversos parámetros de manera rápida y eficaz para evitar que existan diferencias notables y perjudiciales en el estudio de nuevos materiales.

Actualmente la existencia del módulo de reacción en lecho fijo o reactor horizontal cuenta con un sistema de adquisición de datos que permite el monitoreo de variables de flujos y temperaturas, mas no permite el manejo de otras variables o de mayor numero de variables, así como

también inconvenientes en el proceso automático para la programación y autonomía del reactor instalado, así como mostrarnos alertas en tiempo real o una generación de reportes de incidentes ocurridos durante el ensayo.

El presente proyecto se desarrollara en base al proyecto de nombre " Implementación De Sistema SCADA Para El Proceso De Obtención De Trazas De Fibra De Carbono En El Laboratorio De Investigación De Ciencias de los Materiales De La Universidad Católica De Santa María", del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María, en el Laboratorio de Investigación de Ciencias de los Materiales, el cual está basado en un monitoreo a un equipo de reacción horizontal o fija para la producción de nano fibras de carbono en pequeña escala y que solo cuenta con la etapa de reacción a monitorear.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El problema planteado en cuestión se suscita en la necesidad de controlar una cantidad mayor de variables de manera sincronizada, ordenada y con poco margen de error los procesos tales como la activación y la reacción propiamente dicha, así como también su posterior recolección y almacenamiento, que asegure un proceso de calidad y poder cumplir con las cantidades esperadas, además de esto se desea la adquisición de datos y su almacenamiento para su futuro estudio y de esta manera poder demostrar y mejorar el procedimiento realizado para la obtención de nanoestructuras a base de carbono así como otros procesos a los cuales se desee adaptar en un futuro.

Este proyecto se centra en el objetivo básico de poder asegurar la fluidez y el correcto funcionamiento del proceso, puesto que el módulo a instalarse en un futuro deberá contar con dos etapas de reacción, así

como una etapa de almacenamiento para el producto resultante, ahí radica la importancia de este proyecto ya que al ser este proceso más complejo, y con mayor número de variables a monitorear y controlar, es necesario que exista un sistema de supervisión que nos permita notar las variaciones en tiempo real así como encargarse de manera automática de la variación de los parámetros ya preestablecidos en los tiempos deseados y de manera prácticamente simultánea, porque al ser mayor la cantidad de parámetros, no existirá la posibilidad de realizarlos de manera manual sin que exista una variación considerable de los tiempos de establecimiento entre pruebas, así como también dotar a este sistema el poder controlar límites máximos y mínimos de seguridad y notificarnos si los valores descienden por debajo del límite mínimo o por encima del límite máximo.

El diseño de un sistema SCADA para este futuro proyecto permitirá facilitar de sobremanera la repetitividad y estandarizar la calidad de las nanoestructuras a base de carbono que serán elaboradas en este módulo, así como también facilitará el uso del módulo para futuros tesis, docentes y demás personal interesado en la obtención de nanoestructuras de carbono o de otros materiales que se puedan obtener bajo parámetros similares en un reactor vertical de lecho fluidizado.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema SCADA para el control de un reactor vertical de lecho fluidizado.

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Definir los procesos que posee el reactor vertical de lecho fluidizado de dos etapas.

- Diseñar y desarrollar el HMI (Interfaz Hombre Máquina).
- Proporcionar un sistema de adquisición y almacenamiento de datos.
- Programar alertas y reportes necesarios para el proceso.

1.4. ALCANCES

En este proyecto se engloba el proceso de investigación acerca del diseño de un reactor vertical de lecho fluidizado que sirve para la síntesis de nanoestructuras a base de carbono y el control de los sensores y controladores a instalarse en una futura implementación.

Así mismo este sistema SCADA busca simplificar y facilitar el uso del módulo de reacción vertical por lecho fluidizado para alumnos, futuros tesisistas, docentes, investigadores y personal interesado así también como para ayudar en la adquisición y almacenamiento para su futuro análisis y estudio de los parámetros medidos que permitirán mejorar el desarrollo de otros materiales que requieran del uso de un reactor de lecho fluidizado, también se busca que este sistema pueda servir de base para futuros módulos que deseen implementarse haciendo uso de controladores similares y se deseen controlar por medio de un sistema SCADA.

Por lo cual, este proyecto contiene el diseño de un sistema SCADA que permita representar el reactor de lecho fluidizado, el proceso de activación, almacenamiento, así como las pruebas de medición y control realizadas con el programa.

1.5. ANTECEDENTES

Design and Process control of Siemens polysilicon CVD reactor
(Priya, Kumar, Mathew, & Kalamdani, 2015).

La novedad en este proyecto es realizar el control de un proceso para la producción de poli silicio haciendo uso de la técnica química CVD para conseguir una óptima productividad y poder controlar los parámetros existentes en todo el proceso

La arquitectura utilizada respecto al hardware fueron monitores para permitir controlar las etapas secuenciales sistemáticas, la planta trabaja a una alta temperatura entre 1050 y 1100 °C.

La simulación, así como el desarrollo del software SCADA se desarrolló en los entornos de LabVIEW 8.6 y Matlab 7.5 en los cuales desarrollo un sistema de control y el mismo entorno del sistema SCADA.

Implementación De Sistema SCADA Para El Proceso De Obtención De Trazas De Fibra De Carbono En El Laboratorio De Investigación De Materiales De La Universidad Católica De Santa María (Onque, 2017).

Este proyecto consiste en la implementación de un sistema SCADA para el control de un proceso de reactor CVD, controladores de flujo másico de gases y presión y medición de la temperatura obtenida por controladores de temperatura y termocuplas auxiliares.

Para realizarlo se utilizó un hardware implementado en el laboratorio utilizando un monitor, tres controladores de temperatura y 4 controladores de flujo másico, adicionalmente a estos se hizo la adquisición de datos de todos estos y 3 termocuplas auxiliares y adicionalmente módulos de acondicionamiento de señal tanto para los termopares que poseen los controladores de temperatura, así como para las termocuplas auxiliares.

Es importante destacar que este sistema desarrollado no permite el control de los controladores de temperatura, solo adquiere la temperatura y la almacena.

El software utilizado para el desarrollo de este proyecto fue Visual Basic 6.0, Arduino y Microsoft Excel.

Implementación e Integración del Sistema de Control de un Reactor CVD para la Obtención de Trazas de Fibra de Carbono (Gómez, 2017).

Este trabajo consistía en la integración e implementación de un sistema de control para un reactor CVD para la obtención de trazas de fibra de carbono. El mayor aporte de este proyecto es la integración y la búsqueda para conseguir la compatibilidad entre diferentes protocolos presentes en los diferentes controladores.

Adicionalmente a esto se realizó un análisis al paquete de datos que envía y recibe el controlador de temperatura, ya que posee un software cerrado para aplicaciones externas a las permitidas por su propia interfaz, y por medio de este análisis poder realizar el control a los parámetros más importantes de este controlador.

En él se buscó que pueda existir un funcionamiento de interacción entre los controladores y una computadora por medio de internet, adicionalmente a esto se realiza la selección de los controladores y sensores a utilizar para poder monitorear el proceso a distancia.

CAPITULO II

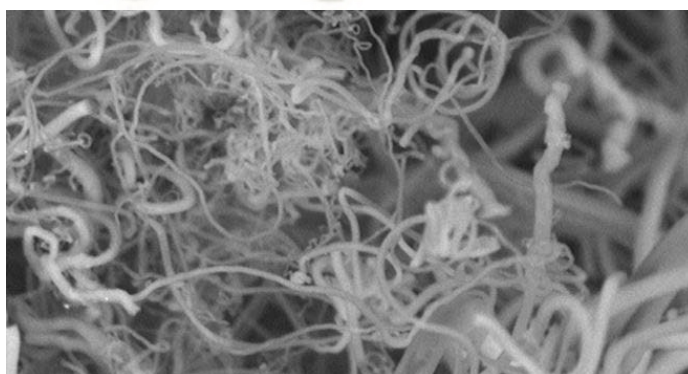
MARCO TEÓRICO

2.1. NANO FIBRAS DE CARBONO

Las nanofibras de carbono multicapa (MWCNT) fueron descubiertos en 1991 por Sumio Iijima, un ingeniero japonés de la empresa NEC. Desde el principio mostraron importantes efectos cuánticos debidos a su estructura casi unidimensional, lo que incentivó a numerosos científicos a trabajar en ellos. Las nanofibras de una sola capa (SWCNT) se descubrieron dos años después por el grupo de Iijima en NEC y por otro grupo en el IBM Almaden Laboratory.

A partir de su descubrimiento los científicos buscaron la forma de producirlos en el laboratorio. Desde entonces se ha avanzado mucho en los distintos métodos de síntesis que han ido surgiendo, así como en los de caracterización, purificación y separación. (Rivas, Román, & Cosme, 2007)

Estas nanoestructuras a base de carbono se han desarrollado mucho en las últimas décadas y se obtienen de diversos tipos de gases y como parte también de un medio de reciclaje de gases producto de la combustión completa e incompleta como lo es el CO_2 y CO , así también como producto derivado del biogás y del gas natural.



*Figura 1: Nanofibra de carbono obtenida de CO₂**Fuente: (BBC, n.d.)*

2.2. APLICACIONES DE LAS NANOESTRUCTURAS DE CARBONO

Muchas son las aplicaciones que pueden obtener importantes beneficios al incorporar nanotubos de carbono. Los materiales compuestos reforzados con nanotubos, las pantallas planas que utilizan los nanotubos como emisores de campo, los sensores biológicos y químicos para detectar sustancias contaminantes, la administración de fármacos o las pilas de combustible son sólo algunas de ellas. En general, sectores como electrónica, materiales, sensores, biotecnología, química, energía, mecánica, instrumentación científica y fotónica podrían verse favorecidos por la introducción de nanotubos de carbono en muchos de sus productos.

La evolución de las publicaciones que tratan sobre aplicaciones de nanotubos de carbono presenta una tendencia ascendente en los últimos años, lo cual es una muestra del gran interés que suscitan. EE.UU. es el líder mundial en cuanto a número de publicaciones, pero también Asia es una región importante, debido en parte a la presencia en ella de importantes empresas electrónicas que pueden obtener grandes beneficios al incorporar nanotubos de carbono en sus productos. No hay que olvidarse tampoco de Europa, que también apuesta por estas nuevas tecnologías.

El mercado de las aplicaciones de los nanotubos de carbono es todavía muy incipiente, aunque sus aplicaciones crecen de manera exponencial con el desarrollo de nuevos productos y máquinas que se busca que sean más ligeras que las ya existentes, pero mucho más resistentes, así como también mejorar propiedades tanto físicas como químicas. Sólo los materiales compuestos reforzados con nanotubos aparecen en accesorios deportivos como raquetas de tenis o bicicletas. Las aplicaciones

electrónicas son muy prometedoras ya que en ellas los nanotubos de carbono permitirán continuar con la miniaturización progresiva que afecta a esta área y que se encuentra amenazada por los límites físicos de funcionamiento del silicio, a punto de ser alcanzados. Sin embargo, sólo hay prototipos electrónicos que incorporan nanotubos de carbono, todavía no hay productos comerciales debido a la falta de procesos industriales adecuados para su elaboración. Las tecnologías restantes que incorporan nanotubos de carbono muestran distintos grados de madurez para su acceso al mercado, pero ninguna se comercializa aún. (Rivas, Román, & Cosme, 2007)

2.2.1. APLICACIONES ELÉCTRONICAS

Tabla 1: Aplicaciones electrónicas de los nanotubos de carbono

Propiedad	Aplicación
Metálicos	Nano circuitos: Interconectores.
Semiconductores	Nano circuitos: Diodos, Transistores.
Emisión de campo	Pantallas planas, lámparas, tubos de rayos catódicos, fuentes de rayos X, amplificadores de microondas, tubos de descarga en redes de telecomunicaciones, microscopios electrónicos de barrido, nano triodos, belatrones.
Resuenan mecánicamente ante una señal electromagnética incidente	Filtros RF.
Comportamiento resistivo, capacitivo e inductivo	Filtros RF.
Se deforman en presencia de un campo eléctrico por fuerzas electrostáticas	Memorias.

Transforman la luz en electricidad y producen luz al inyectarles exceso de carga	Dispositivos optoelectrónicos.
--	--------------------------------

Fuente: (Rivas, Román, & Cosme, 2007)

Tabla 2: Aplicaciones en instrumentación de los nanotubos de carbono

Propiedad	Tipo de sensor
Cambio en la resistencia y capacidad al reaccionar químicamente con ciertas sustancias.	Sensores químicos
Cambio en la resistencia provocado por fuerzas electrostáticas procedentes	Sensores químicos de sustancias cargadas.
Cambio en la resistencia al ser sometidos a fuerzas mecánicas	Sensores mecánicos.
Cambio en la frecuencia de vibración al ser sometidos a una fuerza	Sensores mecánicos resonantes.
Aumenta la resistencia con la temperatura	Sensores térmicos.
Producen corriente eléctrica al ser calentados con determinadas longitudes de onda del espectro infrarrojo: piroelectricidad	Sensores térmicos.
Producen corriente eléctrica al ser iluminados	Sensores electromagnéticos.
Presentan fotoluminiscencia	Sensores electromagnéticos.
Absorben luz visible e infrarroja	Sensores electromagnéticos.
Emiten electrones cuando se estimulan con microondas	Sensores electromagnéticos.
La corriente de electrones emitida	Sensores de presión por emisión de

depende de la presión de la cámara

campo.

Fuente: (Rivas, Román, & Cosme, 2007)

2.2.2. APLICACIONES EN BIOTECNOLOGÍA Y QUÍMICA

- Adsorción y absorción:
 - o Un adsorbente es una sustancia que tiene gran capacidad de adsorción, es decir, de atraer y retener en su superficie moléculas o iones de otros cuerpos.
 - o La absorción, sin embargo, consiste en atraer y retener moléculas y iones de otros cuerpos de forma que éstos penetran en el interior del absorbente.
- Catálisis: Un catalizador es una sustancia que acelera o retarda una reacción química, pero sin sufrir ella misma ninguna alteración.
- Electrosíntesis: El nombre “Electrosíntesis” hace referencia a una reacción química que tiene lugar en una disolución provocada por la acción de una corriente eléctrica. Para ello se sumergen en la disolución unos electrodos a los que se aplica una diferencia de potencial. En la disolución hay sustancias orgánicas que se oxidarán o reducirán con los electrones suministrados en los electrodos.
- Medicina
 - o Cirugía: Los nanotubos de carbono podrían utilizarse como sensores para desarrollar material quirúrgico inteligente.
 - o Prótesis.
 - o Diagnóstico por imagen.

2.2.3. APLICACIONES ENERGÉTICAS

- Almacenamiento
 - o Hidrogeno y otros gases: Los CNT se distinguen en general de otras superficies de grafito en su curvatura cerrada y en su hueco

interior. En este caso los campos generados por las paredes se solapan para dar una mayor interacción con las moléculas del gas que la que se tendría en el caso de una superficie de carbono plana, y esta es la razón que hace que actualmente los CNT sean candidatos a ser utilizados para almacenamiento de gases, hidrógeno en particular.

- o Supercondensadores: Un supercondensador es un condensador que tiene una alta capacidad para almacenamiento de carga. La diferencia entre condensador y supercondensador se halla en el tipo de material que se utiliza en las armaduras. En supercondensadores se utiliza un material de muy alta porosidad y por tanto se dispone de más espacio para almacenar carga. La utilización de CNT en esta aplicación permite cambiar el material poroso e irregular del carbón activo por una estructura de CNT alineados de pocos nanómetros de diámetro cada uno, con lo que se aumenta la capacidad de carga al tener mayor superficie específica.
- Conversión
 - o Célula de combustible: Una célula o pila de combustible tiene un funcionamiento electroquímico similar a una pila, pero con la diferencia de que los elementos que inician la reacción para liberar energía (reactivos) se reabastecen en todo momento de manera que no tiene una vida limitada como en el caso de las pilas convencionales. Uno de los elementos esenciales para el buen funcionamiento de la pila es el electro catalizador, normalmente un material precioso como el platino o el rutenio y, por tanto, caro. Éste debe estar en el electrodo que debe tener como características: ser un material poroso, de elevada superficie

específica, inerte y buen conductor. Los CNT cumplen con todas estas características y, por tanto, son candidatos a ser utilizados.

- o Baterías de ion Litio: En las baterías de ion Litio básicamente lo que se produce es el tránsito, en función de un potencial externo aplicado, de iones Li entre el cátodo (normalmente de LiCO_2) y el ánodo de carbono (y a la inversa cuando se carga). La aplicación de los CNT en este caso, se produce en el ánodo de la pila, debido a su elevada superficie específica que permite aumentar la reacción con el electrolito y a su elevada conductividad. El ánodo se puede construir únicamente con CNT, pero lo habitual es usar los CNT como aditivos en grafito.
- o Células solares: La participación de los CNT en esta aplicación puede ser doble. En una primera solución los CNT pueden ser el material (o un componente del material compuesto) semiconductor que genera corriente al ser excitados por rayos de luz de la longitud de onda apropiada para superar la estructura de bandas que presentan, tal y como sucede con un material semiconductor normal y corriente. Una segunda aplicación es la de mejorar y facilitar el tránsito de las cargas fotogeneradas hasta la superficie del electrodo aprovechando su alta conductividad.

Todas estas aplicaciones mencionadas anteriormente han sido recopiladas por un informe de vigilancia tecnológica por la fundación madri+d para el Conocimiento, elaborado en el INIA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, 2007).

2.3. REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

Los reactores de lecho fluidizado son utilizados para realizar gran cantidad de procesos químicos. La característica más distintiva de este tipo de reactor es que trabajan con el principio de fluidización que consiste en soportar sólidos o partículas catalíticas por un flujo de gas. Este reactor facilita la carga y extracción del catalizador, lo cual es una ventaja muy importante en procesos continuos o en aquellos en el cual el lecho de sólidos debe ser eliminado y reemplazado constantemente.

Otra ventaja existente en este tipo de reactores es que poseen una excelente transferencia de calor y mezclado de los sólidos o partículas catalíticas. Estos reactores son principalmente utilizados en los procesos químicos, en los cuales sus parámetros dependen grandemente de la transferencia de calor.

A diferencia de los reactores de lecho fijo, los reactores de lecho fluidizado poseen la ventaja de no poseer un punto caliente en el lecho, permiten una distribución uniforme de la temperatura en el catalizador y un mayor rendimiento del catalizador. Adicionalmente a esto nos permite una mezcla muy buena entre el catalizador y los gases de fluidización. (Conesa, 2010).

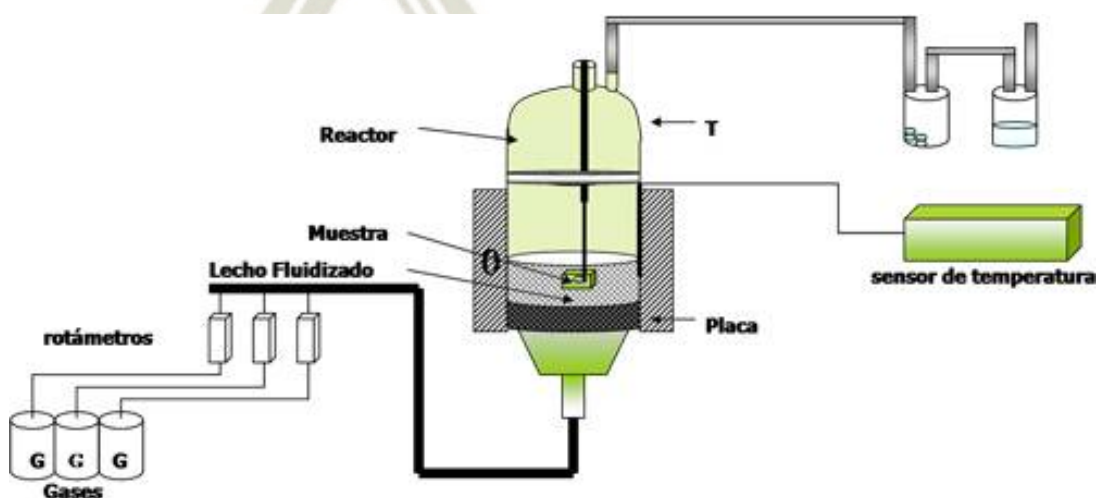


Figura 2: CVD de Lecho Fluidizado
Fuente: (Universidad Complutense de Madrid, 2007)

2.4. SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA (Supervisión, Control, Adquisición de Datos) es una tecnología o mejor dicho una aplicación de la tecnología para la obtención de datos acerca de un proceso o conjunto de procesos con la finalidad de poder controlar y optimizar ese proceso o conjunto de procesos. En otras palabras, sería un medio para llegar a un fin, pero no es independiente ni puede trabajar de manera aislada al proceso al cual está relacionado puesto que este depende completamente de un proceso o conjunto de procesos definidos previamente para poder realizar el control, la supervisión y la adquisición de datos de este de manera apropiada.

Algunas ventajas notables que posee la infraestructura SCADA y su correcta ejecución según la empresa multinacional Wonderware en implementación de software de control y sistemas SCADA son (WonderWare, n.d.):

- Aumentar la disponibilidad de los activos y su ciclo de vida.
- Permite incrementar la productividad y reducir costes.
- Mejorar y explotar al máximo las prestaciones para las cuales están diseñados los equipos a controlar.
- Lograr que los productos fabricados a base del sistema controlado sean de mayor calidad.
- Reducir a su máxima expresión posible los costos que acarrearían las labores de mantenimiento, así como evitar que estos acarreen fallos correlativos en caso que el mantenimiento no hay sido el adecuado.

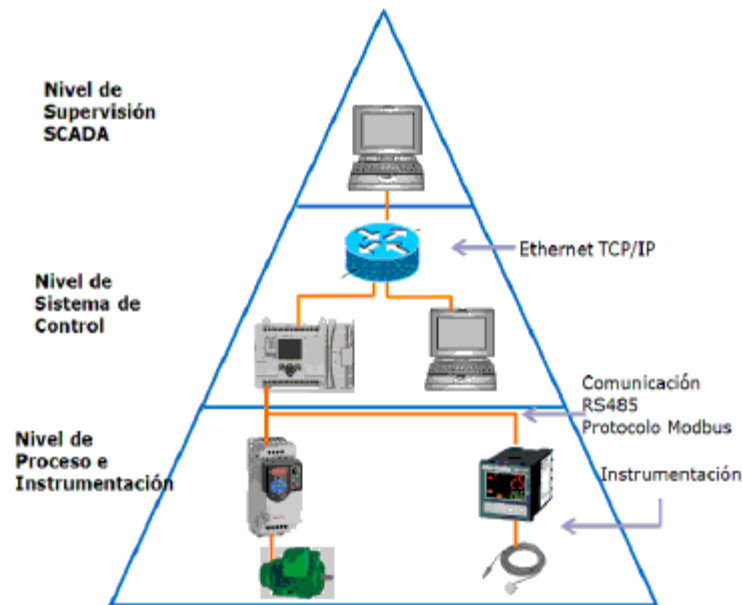


Figura 3: Esquema de un sistema SCADA
Fuente: eps-logix (EPS Logix, n.d.)

2.4.1. FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA

Las funciones más básicas y que definen a un sistema SCADA son las desarrolladas aquí:

- **Supervisión remota de instalaciones:** Mediante esta función, el operador se encuentra en la capacidad de conocer el estado del proceso, así como de las instalaciones y de esta manera poder coordinar de manera concreta y eficiente las labores de mantenimiento en el campo.
- **Control de instalaciones:** Los sistemas SCADA deben proveer la capacidad al operador de manipular las variables del proceso de manera remota a través de una interfaz que le permita reconocer las partes del proceso e intervenir de manera real en él.
- **Adquisición de datos:** una función fundamental en este tipo de procesos es la adquisición de datos en tiempo real como almacenarlos para su futuro estudio y análisis, debe ser de manera ordenada y lo suficientemente clara para permitir entender el proceso por medio de las hojas de datos.

- **Generación de reportes:** una función muy útil que hacen a estos sistemas de gran utilidad en el campo son los reportes generados, tanto aquellos que poseen datos del proceso, así como las alarmas que hayan saltado en este sistema a lo largo del proceso advirtiéndolo que los productos resultantes puedan tener alguna anomalía.
- **Presentación de graficas:** esta función un tanto secundaria es muy útil para procesos térmicos y químicos que permiten ver la similitud entre procesos y de esta manera homogeneizar resultados.
- **Procesamiento de información:** esta función es secundaria y es para aquellos procesos en los cuales se necesita un procesamiento adicional a las variables para un mejor entendimiento o para que estos entren dentro de un estándar y de esta manera representar de una manera más clara los resultados de los ensayos, procesos y operaciones controladas y supervisadas por un sistema SCADA.

2.5. LABVIEW

LabVIEW es un software de ingeniería diseñado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a información de datos y hardware, así como también permitirnos el desarrollo de diversos tipos de aplicaciones para interfaces diversas o interacción con otras aplicaciones.

LabVIEW ofrece un enfoque de programación gráfica que le permite al usuario programador la posibilidad de poder visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de software, datos de mediciones y depuración. Este tipo de programación por medio gráfico facilita la integración de hardware de medidas de cualquier proveedor y representar una lógica compleja en el diagrama.

La versión de software utilizada en el desarrollada en este proyecto es LabVIEW 2017 de 64 bits, es necesaria cualquier versión de LabVIEW posterior a la del 2013 pues estas incluyen de manera gratuita el Report Generation Toolkit que servirá para la exportación de la información a la suite de Microsoft Office (National Instruments, 2018).



Figura 4: Logo LabVIEW
Fuente: (National Instruments, 2018)

2.5.1. VENTAJAS DE LABVIEW

Este software con gran cantidad de virtudes y entre las principales está el hardware con el cual posee compatibilidad, puesto que este entorno de desarrollo cuenta con numerosas librerías y driver para muchos instrumentos de operación industrial.

- VXI, PXI, Compact PCI
- PCI
- USB, FireWire
- Serie

Adicionalmente a la compatibilidad con esos tipos de conexiones de hardware también presenta comunicación con los siguientes protocolos:

- VXI, PXI, Compact PCI
- PCI express, PXI express
- PCI

- USB, FireWire
- Serie RS 232, 422, 485
- TCP/IP, UDP
- Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus, otros protocolos industriales
- Bluetooth, WIFI

Otra de las grandes ventajas que presenta LabVIEW es su lenguaje y es que posee la virtud de contar con un lenguaje grafico que reemplaza el clásico lenguaje por código en líneas, y que hace que su entendimiento sea bastante más intuitivo para las personas nuevas en esta interfaz y que permite que por medio cables virtuales se una la lógica de programación utilizada, además de contar con gran cantidad de bloques que engloban ya muchísimas funciones.

2.6. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Las comunicaciones industriales con fines de control y automatización exigen estándares que permitirán una conexión local entre equipos terminales y una computadora o controlador y sus periféricos incluyendo sensores, actuadores y controladores lógicos programables (Saboya & Forero, 2012). Las comunicaciones más populares son:

- RS-232
- RS-485

2.6.1. ESTANDAR RS-232

Desarrollada en la década de los 60 por la EIA, es una interfaz común de comunicación con el objetivo principal del intercambio de datos a través de líneas telefónicas de voz por lo cual para su interpretación se requerían traductores de señales que permitían el cambio de análogo-digital a digital-análogo, este protocolo utiliza un

modo asíncrono en el cual el emisor y el receptor manejan la misma frecuencia.

Los parámetros de la transmisión son programables, y se han ido actualizando por más de 40 años durante los cuales han existido 3 modificaciones considerables actualmente a este protocolo se le llama EIA-232.

La velocidad de transmisión en la que puede variar este protocolo oscila entre 50 y 19200 baudios. (Saboya & Forero, 2012)

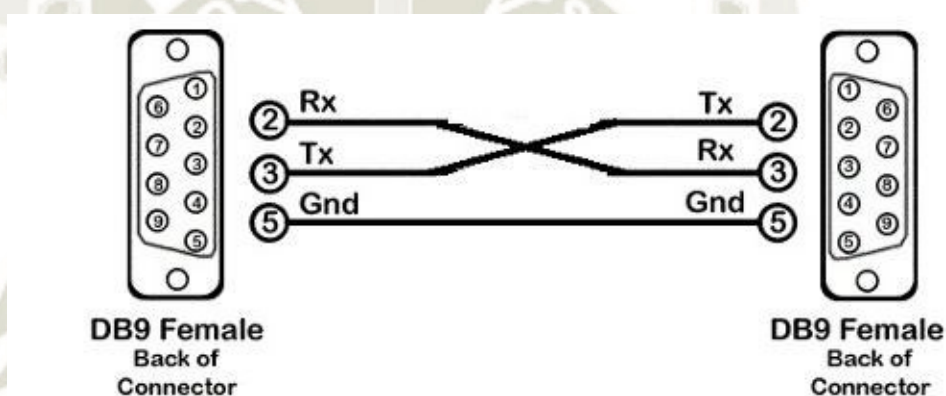


Figura 5: Conector serial tipo D9 para comunicaciones RS-232

Fuente: (Saboya & Forero, 2012)

2.6.2. ESTÁNDAR RS-485

Resultado como una de las especificaciones de la norma RS-449 que fue publicada en 1983 en el cual se especificaban características eléctricas de un circuito de comunicación digital de salida. Actualmente conocida como la norma TIA-485-A.222 y confirmada por la TIA (Telecommunications Industry Association) en 2003, permite conectar más de un emisor en la red por lo cual es más útil en redes locales industriales.

Este protocolo permite las conexiones de hasta 32 emisores y 32 receptores y el estándar define que se realice con cable de par de cobre trenzado y terminales RJ11 los cual brinde una mayor resistencia a la interferencia eléctrica y electromagnética y permite una velocidad de transmisión que con la norma RS-232. (Saboya & Forero, 2012)

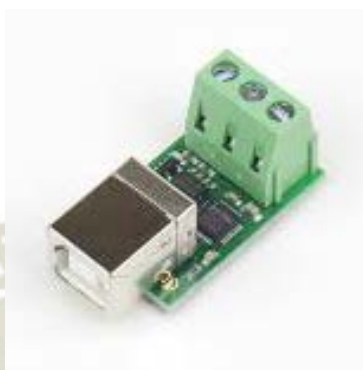


Figura 6: Adaptador de RS-485 a USB tipo D
Fuente: (Manu Systems, 2017)

2.7. COMUNICACIÓN AIBUS

Este tipo de comunicación está desarrollada para los dispositivos de control de temperatura de la empresa china Yudian, para la gama de productos que cumplan con el protocolo de Yudian AI series.

Esta comunicación aplica una interfaz de comunicación serial asíncrona y es compatible con RS232C y con RS 485.

La estructura de datos de este protocolo de comunicación es de la siguiente manera:

1 bit inicial + 8 bits de data + 1 o 2 bits finales

La tasa de baudios para su comunicación es variable y puede ser seleccionada entre 1200 y 19200 bit/segundo.

Cuando se utiliza la comunicación por medio de RS232 solo se puede trabajar con un dispositivo a la vez, en comparación cuando se elige

trabajar con la comunicación RS485 se puede trabajar hasta con 80 dispositivos de manera simultánea.

De acuerdo a la norma de RS485, la comunicación con dispositivos ha de ser como máximo de 32 dispositivos y en necesidad de trabajar con más se debe trabajar con un repetidor.

Una de las ventajas presentes tanto en la comunicación RS232 y RS485 de los dispositivos Yudian es que poseen un aislamiento eléctrico para separar la interfaz de comunicación.

Otra ventaja presente en los dispositivos que cuentan con este protocolo en la marca Yudian es que aun si existe problemas en la comunicación se pueden controlar y manejar todos sus parámetros desde el panel frontal del controlador. (Yudian (HK) Automation Technology Co., n.d.)

2.8. MODELO OSI

El modelo OSI (Open System Interconnection) es un modelo de referencia que es utilizado en los protocolos de red de arquitectura en capas, fue desarrollado en 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO) (Zimmerman, 2015).

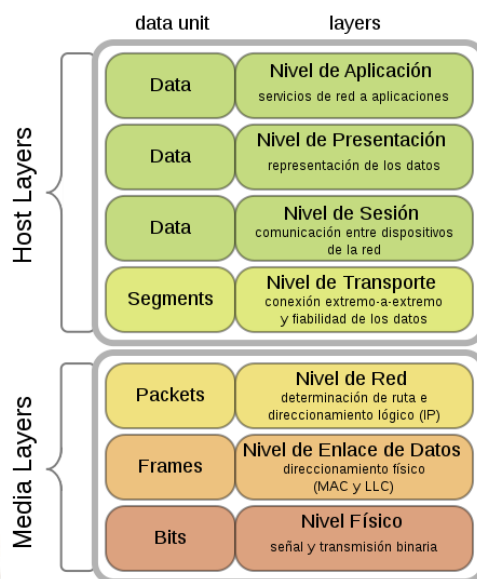


Figura 7: Capas del modelo OSI
Fuente: (Wikipedia, 2018)

2.8.1. CAPAS DEL MODELO OSI

- **Capa Física**

La capa física, es la más baja del modelo OSI, esta se encarga de la transmisión y recepción de una secuencia no estructurada de bits sin procesar a través de un medio físico. Esta capa describe las interfaces eléctrica, mecánica y funcional a un medio físico y la conduce hacia un nivel superior o niveles superiores (Microsoft, 2017).

- **Capa de Enlace de Datos**

La capa de enlace o vínculo de datos ofrece una transferencia sin errores de los datos desde un nodo a otro o a través de la capa física, esta capa debe poseer ciertas características fundamentales que nos permitirán asegurar la transmisión (Microsoft, 2017). Las cuales son:

- o Establecimiento y finalización de vínculos.
- o Control del tráfico en tramas.
- o Secuenciación de tramas
- o Confirmación de tramas
- o Delimitación de trama

- o Comprobación de errores de trama.
- o Gestión de acceso a medios.

- **Capa de Red**

La capa de red controla el funcionamiento de la subred, y decide que ruta de acceso física deberían tomar los datos en función de las condiciones de la red, la prioridad y otros factores que se consideren relevantes. (Microsoft, 2017)

- o Enrutamiento
- o Control de tráfico de subred
- o Fragmentación de tramas
- o Asignación de direcciones lógico-físicas
- o Contabilidad del uso de la subred

- **Capa de Transporte**

La capa de transporte asegura y garantiza que los mensajes se entreguen sin errores, en secuencia y sin pérdidas de datos o duplicados. Libera además los protocolos en niveles superiores de cualquier asunto relacionado con la transferencia de datos. El tamaño y la complejidad de un protocolo de transporte depende del tipo de servicio que pueda obtener de la capa de transporte, para que esta sea confiable se requiere de una mínima capa de transporte (Microsoft, 2017).

- o Segmentación de mensajes.
- o Confirmación de mensajes.
- o Control del tráfico en mensajes.
- o Multiplexación de sesión.

- **Capa de sesión**

La capa de sesión permite el establecimiento de sesiones entre procesos que se ejecutan en diferentes estaciones (Microsoft, 2017).

- o Establecimiento, mantenimiento y finalización de sesión.
- o Soporte de sesión.

- **Capa de presentación**

La capa de presentación de presentación da formato a los datos que deberán presentarse en la capa de aplicación. Se considera a este como un traductor de la red. En este nivel se pueden convertir los datos de un formato utilizado en la capa de aplicación en un formato estándar para la estación emisora y viceversa (Microsoft, 2017).

- o Traducción del código de caracteres.
- o Conversión de datos.
- o Comprensión de datos.
- o Cifrado de datos.

- **Capa de aplicación**

El nivel final o la capa de aplicación es aquella que actúa como ventana para los usuarios y los procesos de aplicaciones para tener acceso a los servicios que nos pueda proporcionar la red. Esta capa contiene varias funciones que se utilizan frecuentemente (Microsoft, 2017).

- o Uso compartido de recursos
- o Acceso a archivos remotos
- o Acceso a la impresora remota
- o Comunicación entre procesos
- o Administración de la red
- o Servicios de directorio
- o Terminales virtuales

2.9. MICROSOFT OFFICE

Microsoft Office es una suite Ofimática desarrollada por Microsoft que interrelaciona aplicaciones de escritorio, servidores y servicios para diversos sistemas operativos.



Figura 8: Logo de la suite de Microsoft Office
Fuente: (Microsoft, 2017)

2.9.1. MICROSOFT EXCEL

Microsoft Excel es una aplicación de hoja o plantilla de cálculo desarrollado por Microsoft que actualmente abarca la mayoría significativa del mercado. Permite desarrollar aplicaciones dedicadas a su interfaz, bases de datos e intercomunicación con el resto de aplicaciones de Microsoft, así como con otras aplicaciones de uso popular. (Microsoft, 2017)

2.9.2. MICROSOFT WORD

Microsoft Word es un procesador de texto desarrollado por Microsoft que posee la posición dominante del mercado, así como también la interrelación entre diversos formatos de generación de texto y permite la creación de plantillas. (Microsoft, 2017)

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL SISTEMA SCADA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema diseñado estará compuesto por 3 subsistemas, estos subsistemas principales para el funcionamiento completo del módulo de reacción vertical son los siguientes:

- Subsistema de activación del catalizador
- Subsistema de reacción
- Subsistema de almacenamiento

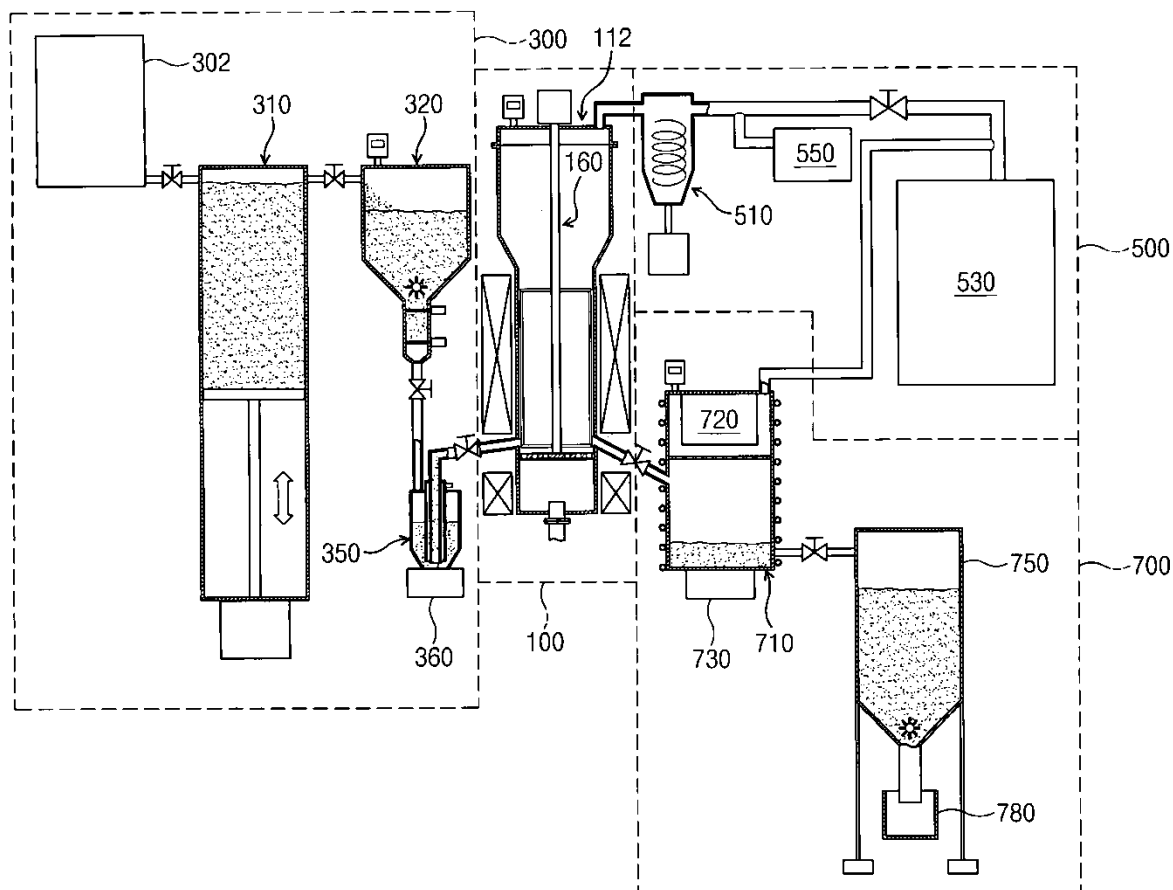


Figura 9: Imagen referencial del diseño del modulo
Fuente: (EE.UU Patent No. US8333928B2, 2007)

3.1.1. SUBSISTEMA DE ACTIVACIÓN DEL CATALIZADOR

Este subsistema principal tiene como objetivo la activación del catalizador previamente preparado para que pueda ingresar al subsistema de reacción y en este se puedan obtener las nanoestructuras a basa de carbono.

A su vez este subsistema principal este compuesto por 3 subsistemas secundarios que se encargaran de su funcionamiento especifico. Estos subsistemas secundarios son:

- o Subsistema de control de flujo másico y presión
- o Subsistema de control de temperatura del reactor secundario
- o Subsistema de temperatura secundaria

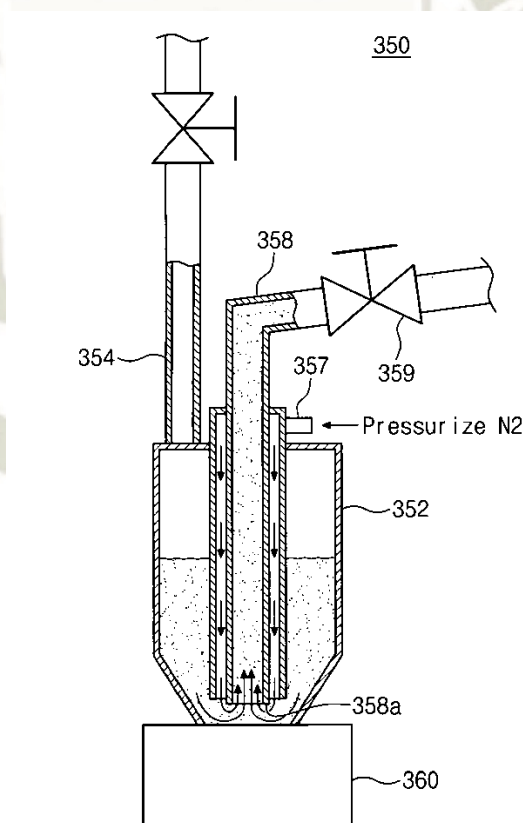


Figura 10: Imagen referencial de la cámara de activación para el catalizador
Fuente: (EE.UU Patent No. US8333928B2, 2007)

3.1.1.1. Subsistema de control de flujo másico y presión

Este subsistema secundario posee en su parte fundamental 3 controladores de flujo másico y presión para controlar el paso de dos gases (Nitrógeno e Hidrogeno) y también el control del mezclador que se encargara de la mezcla uniforme de ambos gases anteriormente mencionados y su ingreso al reactor secundario.

Los controladores de flujo másico y presión que se utilizaran y están concebidos para la futura implementación de este módulo serán los controladores de la marca norteamericana ALICAT Scientific., y pertenecerán a la línea MC-Series y PC-Series respectivamente para los de control de flujo de gases y la del mezclador.

Los gases utilizados serán extraídos desde la azotea del pabellón en el cual será implementado el módulo y por medio de tuberías serán transportados hasta el laboratorio y en este por medio de un juego de válvulas se conectará al módulo que los llevarán hasta sus controladores respectivamente.

Adicionalmente a estos controladores mencionados se tiene en consideración otro controlador que se encargará del flujo de transporte que lleve el catalizador activado desde el reactor secundario al reactor principal por medio de una atmosfera inerte creada provista por Nitrógeno.

3.1.1.2. Subsistema de control de temperatura

El subsistema de control de temperatura del reactor secundario para la activación del catalizador estará compuesto por un tablero de potencia y otro de control, para este reactor secundario se está tomando en consideración un reactor de una sola zona por lo

cual solo contara con un controlador de temperatura, para la parte de control de temperatura se está considerando el uso de controladores de temperatura de la marca china Yudian de la línea AI que nos permite auto sintonización, así como control de sus parámetros de manera manual así como automáticamente por medio del software desarrollado en este proyecto, cabe resaltarse que para la implementación correcta de estos controladores y su interacción con una computadora se necesitara que cada uno de estos controladores cuenten con un módulo de comunicación que se adquiere por separado de la misma marca.

3.1.1.3. Subsistema de temperatura secundaria

Para este subsistema se contará con termocuplas auxiliares de tipo K que alcanza valores de hasta 1200 °C, estas termocuplas pueden conectarse manera directa a una tarjeta de adquisición de datos que para este proyecto se tiene previsto será la tarjeta USB NIDAQ6001 de la empresa norteamericana National Instruments puesto que permite mayor practicidad para su conexión y su compatibilidad directa con el software de desarrollo utilizado NI LabVIEW 2017.

3.1.2. SUBSISTEMA DE REACCIÓN

Este subsistema principal tiene como objetivo recibir el catalizador activado previamente en el reactor secundario y realizar el proceso principal de este módulo que será la producción de nanoestructuras a base de carbono.

Adicionalmente este se debe encargar de la expulsión del material producido en el interior del reactor y prepararse para la recepción de catalizador nuevo para realizar el proceso de reacción nuevamente y de

manera continua. Este subsistema principal al igual que el anterior cuenta con tres subsistemas secundarios los cuales son:

- o Subsistema de control de flujo másico y presión
- o Subsistema de control de temperatura del reactor secundario
- o Subsistema de temperatura secundaria

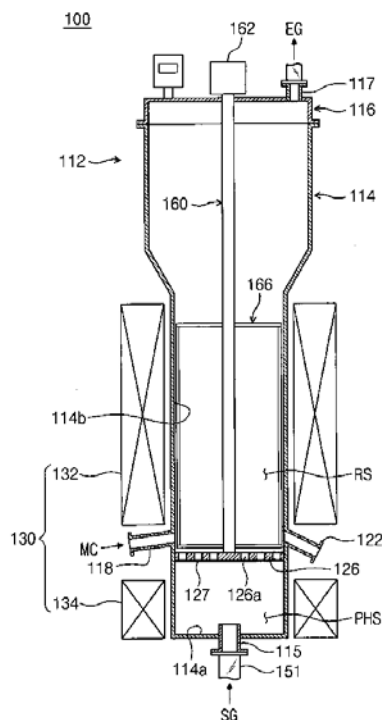


Figura 11: Imagen referencial del reactor principal
Fuente: (EE.UU Patent No. US8333928B2, 2007)

3.1.2.1. Subsistema de control de flujo másico y presión

Este subsistema de control de flujo másico y presión se encarga del control y regulación de los flujos de gases que ingresarán a la cámara principal de reacción los cuales serán (Nitrógeno, Hidrógeno y Metano) adicionalmente a los tres controladores de gases que se tiene presente se necesitara uno adicional que permitirá el paso del mezclador de gases que se encargara de uniformizar sus condiciones de presión y temperatura de la combinación de gases que se desee introducir al interior de la cámara de reacción del reactor de lecho fluidizado.

Al igual que en el subsistema anterior se hará uso de los controladores de la marca norteamericana ALICAT Scientific. En la línea *MC-Series* y *PC-Series* respectivamente para los controladores de flujo de gases como para el mezclador de gases.

3.1.2.2. Subsistema de control de temperatura

El subsistema de control de temperatura del reactor principal se encargará de controlar todas las zonas del mismo, y este se prevé que será de tres zonas de calentamiento siendo las dos más importantes las iniciales (precalentamiento de los gases, zona de reacción).

Para estos controladores se toma en cuenta lo anteriormente mencionado en el reactor secundario, deberá contar con módulos de comunicación cada uno de los controladores que permiten la comunicación por medio del protocolo RS485 con el ordenador que vendría a ser el maestro de este sistema SCADA.

Se prevé al igual que en el subsistema de control de temperatura del reactor secundario que estos deberán ser de la marca china Yudian de la línea AI que permite su auto sintonización de los parámetros de control PID provisto por estos.

3.1.2.3. Subsistema de temperatura secundaria

Para este subsistema se contará con termocuplas auxiliares de tipo K que alcanza valores de hasta 1200 °C al igual que en el subsistema del reactor secundario, estas termocuplas se conectarán de manera directa a una tarjeta de adquisición de datos que para este proyecto se tiene previsto será la tarjeta USB NIDAQ6001 como se

mencionó anteriormente y son de la empresa Norteamericana National Instruments puesto que permite mayor practicidad para su conexión y su compatibilidad directa con el software de desarrollo utilizado NI LabVIEW 2017.

3.1.3. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Este subsistema principal tiene como objetivo el acopio del material producido en el subsistema anterior, reactor principal, así como su enfriamiento y su almacenaje para su posterior recolección.

Este subsistema cuenta solo con la lectura de temperatura por medio de una termocupla auxiliar para la sección de enfriamiento del material producido en el proceso de reacción y llevarlo a una temperatura adecuada para su almacenaje y evitar que este pueda tener variaciones en sus características entre pruebas.

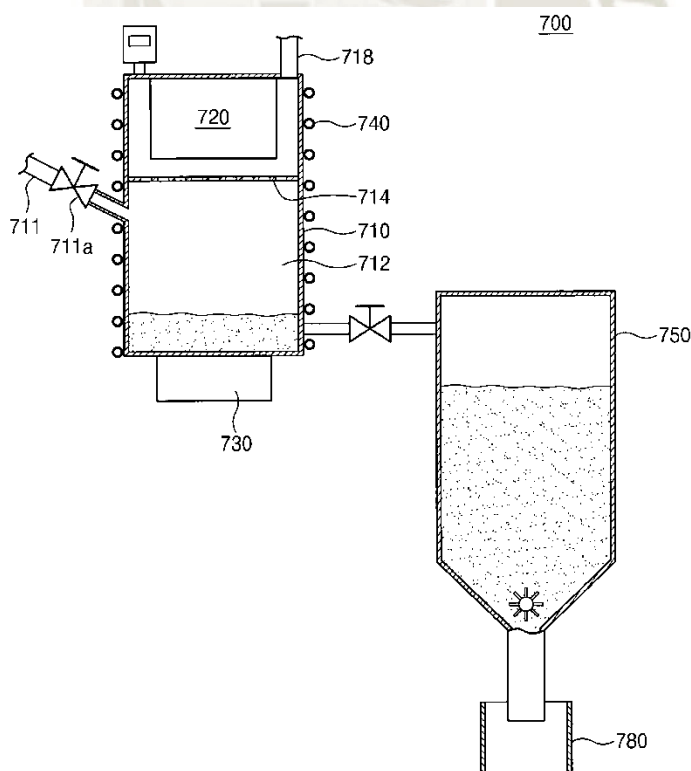


Figura 12: Imagen referencial del sistema de almacenamiento
Fuente: (EE.UU Patent No. US8333928B2, 2007)

3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTROLADORES Y DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los controladores utilizados son tanto los de flujo másico y presión ambos de la marca ALICAT Scientific. Los controladores utilizados para la temperatura son los Yudian AI708 v7.15, y la tarjeta de adquisición para el sistema de temperatura auxiliar es la NIDAQ6001 de National Instruments.

3.2.1. CONTROLADORES DE FLUJO MÁSIKO Y PRESIÓN

Los gases utilizados a lo largo de todo el proceso de producción son 3, un gas inerte que mantiene la atmosfera interior de las cámaras de reacción de manera estéril, el siguiente gas se encarga de la activación del catalizador que permite que posteriormente a este se le adhieran los átomos de carbono, el ultimo gas es el portador de los átomos de carbono que permitirán al catalizador atraerlos y de esta manera conformar las nanoestructuras de carbono.

Para este proceso se pueden considerar diversos tipos de gases que podrían cumplir estas funciones, se tiene contemplado para el gas inerte Nitrógeno N_2 , para el gas de activación Hidrogeno H_2 , y para el gas que dotara los átomos de carbono Metano CH_4 .

Los controladores de flujo másico muestran la siguiente información:

- Presión, Temperatura, Flujo Volumétrico, Flujo Másico, Set Point, Gas

Por otro lado, el controlador de Presión solo muestra:

- Presión, Set Point

Estos controladores son alimentados con una fuente conmutada de 12-24V de corriente directa y 5 Amperios.



Figura 13: Controladores de Flujo másico y Presión
Fuente: (Alicat Scientific, n.d.)

3.2.2. CONTROLADORES DE TEMPERATURA

Los controladores de temperatura se encargan de regular la temperatura de los reactores tanto el secundario como el principal, estos poseen auto sintonización para los parámetros P-I-D que poseen estos controladores, requieren de una conexión de una termocupla y para su comunicación se requiere que se adquiera un módulo de comunicación adicional que se instala fácilmente en el interior de cada controlador y permite la comunicación por medio del protocolo RS485 y AIBUS. Estos controladores nos permiten programar hasta 50 temperaturas y tiempos de manera manual, así como programáticamente.



Figura 14: Controlador de temperatura Yudian AI708
Fuente: (Yudian (HK) Automation Technology Co., n.d.)

3.2.3. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS USB NIDAQ6001

Esta tarjeta de adquisición de datos de National Instruments es un dispositivo multifunción y de bajo costo que nos brinda la adquisición de datos de al menos 8 dispositivos analógicos y 13 entradas y salidas digitales, además de poseer dos salidas analógicas. Tiene una velocidad de 20 kS/s en las entradas analógicas y una resolución de 14 bits, los cual nos permite tener una precisión bastante considerable para la conexión de termocuplas, para el sistema de control de temperatura secundario. (National Instruments, n.d.)



Figura 15: Dispositivo multifunción NIDAQ6001

Fuente: (National Instruments, n.d.)

3.3. CONSIDERACIONES PARA SU COMUNICACIÓN CON LABVIEW

Para la comunicación de estos dispositivos con LabVIEW hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones para cada uno de estos.

3.3.1. INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON ALICAT

Para poder inicializar la comunicación con los controladores ALICAT es necesario primeramente conectarlos por medio de comunicación serial al ordenador. Luego es necesario descargar de la página de Alicat Scientific. el driver para comunicación con LabVIEW,

antes poder realizar la prueba de comunicación entre el controlador y el ordenador es necesario revisar los bits por segundo, los bits de datos, paridad y los bits de parada.

Para estos controladores tanto los de la gama MC series y PC series no es necesario mayores configuraciones para su comunicación con LabVIEW puesto que el fabricante nos brinda un driver bastante confiable para su interacción desde ordenador.

3.3.2. INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON YUDIAN

Para poder inicializar la comunicación con los controladores Yudian es necesario como primer paso adquirir e instalar sus módulos de comunicación que se venden por separado, luego es necesario utilizar un conversor RS485-USB de dos cables y de esta manera conectarse al ordenador, seguidamente revisar la similitud de propiedades de comunicación al igual que en los controladores ALICAT.

Para su comunicación con LabVIEW existe algunas complicaciones al momento de comunicarse puesto que el fabricante no nos proporciona un driver para su compatibilidad con aplicaciones de desarrollo de software y este no posee un estándar de comunicación, sino que tiene un protocolo desarrollado para su gama de productos de la línea AI, llamada AIBUS.

El proceso para el desarrollo del driver que se utilizó para permitir la comunicación con este controlador se describirá en el siguiente capítulo.

3.3.3. INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CON NIDAQ6001

De los tres tipos de dispositivos utilizados en este proceso sin duda alguna este es el más simple para comunicarse, ya que el fabricante es el mismo que el desarrollador de la aplicación para desarrollo de software, National Instruments.

Para la comunicación con esta tarjeta de adquisición de datos es necesario descargar el driver de comunicación serial de LabVIEW que se encuentra en la página LabVIEW y luego conectar esta tarjeta por medio de USB al ordenador y utilizar el asistente de LabVIEW para su configuración de los puertos.



CAPITULO IV

DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA

4.1. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

Para lograr el objetivo de este proyecto es necesario identificar y encontrar las mejores soluciones posibles a cada uno de los requisitos solicitados por el Laboratorio de Ciencias de Materiales de la Universidad Católica de Santa María.

Lista de exigencias

- Lograr una comunicación exitosa entre los controladores del módulo diseñado de reacción vertical para la producción de nanoestructuras a base de carbono.
- Poder almacenar la información proveniente de los sensores y controladores de manera ordenada y obtener graficas de estos procesos.
- Tener la capacidad de controlar los parámetros más importantes desde el ordenador maestro, tanto a los controladores de flujo másico, presión y temperatura.
- Recibir un registro de incidencias en caso existan a lo largo del proceso y al final del mismo en formato de documento de texto.
- Permitir la repetitividad del proceso.
- Contar con una interfaz cómoda, sencilla y fácil de utilizar por personal no necesariamente capacitado sobre el proceso.
- Proporcionar seguridad para los datos, que evitara la intervención de las personas ajenas al laboratorio y a los procesos realizados en este a la edición de las hojas de cálculo generadas, así como al código del programa generado.

Propuestas de solución a cada exigencia

- Reconocer el protocolo de comunicación para cada uno de los controladores y su funcionamiento en el software de desarrollo del sistema SCADA a utilizar.
- Seleccionar una aplicación que nos permita almacenar datos de manera ordenada y clara.
- Reconocer si el driver brindado o desarrollado para cada uno de los controladores nos permite modificar los parámetros más importantes de cada uno de ellos.
- Documentar los errores más importantes en el proceso y almacenarlos todos en un procesador de texto adecuado y con alto nivel de compatibilidad.
- Dotar al sistema de la capacidad de repetitividad con valores y variables ensayadas previamente que permita su funcionamiento repetitivo.
- Desarrollar una interfaz hombre-máquina que permita a cualquier usuario familiarizarse rápidamente con el proceso y no requiera de un alto nivel de capacitación.
- El entorno de LabVIEW nos brinda un sistema de seguridad propio que ha sido desarrollada en simultaneo con Sentinel SDK que asegura la protección del código y de la información generada por este programa, adicionalmente el Report Generation Toolkit nos permite brindarle una contraseña de seguridad a las hojas de cálculo de Excel para su edición.

4.2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LOS CONTROLADORES

4.2.1. INICIO DE SECUENCIA EN CONTROLADORES DE TEMPERATURA YUDIAN

Para que estos controladores estén listos para su funcionamiento luego de su instalación se requiere modificar algunos de sus parámetros de configuración de manera manual.

- (a) Primeramente, encender el controlador.
- (b) Reconocer la parte frontal del controlador.



Figura 16: Panel Frontal de un controlado Yudian AI

Fuente: (MTI Corporation, 2013)

- (c) Presionar el botón Setting por unos breves segundos, hasta que aparecerá el mensaje de confirmación en la pantalla "LOC".
- (d) Seguidamente se ingresará el valor 808 haciendo uso de los botones de incrementar y cursor, y se presionará nuevamente el botón Setting para confirmar.
- (e) Seguidamente utilizando el manual del usuario presente en los anexos deberán modificarse los 33 parámetros de la manera adecuada utilizando los botones de incrementar y decrecer y para variar entre parámetros se presiona el botón Setting.
- (f) Una vez colocados todos los parámetros de manera correcta solo basta esperar unos 10 segundos para que retorne a la pantalla principal mostrando el valor de la temperatura ambiente.

Nota: Este procedimiento debe ser desarrollado por personal capacitado y con apoyo del manual del usuario.

Una vez realizado este procedimiento los controladores de temperatura estarán listos para su funcionamiento de manera manual.

Seguidamente de este proceso es necesario instalar los módulos de comunicación de Yudian (se adquieren por separado) estos módulos nos permiten utilizar un cable de conversión RS485 a USB para poder conectarse con el ordenador de manera serial, y para esto se debe seguir el siguiente procedimiento.



*Figura 17: Módulo de comunicación para controladores Yudian
Fuente: (MTI Corporation, 2013)*

- (a) Con ayuda de un destornillador presionar la ranura presente en la parte inferior del frontal del controlador.



*Figura 18: Abriendo el controlador
Fuente: Elaboración Propia*

- (b) Retirar la parte frontal del controlador para acceder a su sección de módulos que vienen unidos a estos, tener la previsión de no tener cargas eléctricas a su alrededor encendidos para evitar futuros errores en la comunicación de datos.



*Figura 19: Retirando el panel frontal del controlador
Fuente: Elaboración Propia*

- (c) Una vez retirado el panel frontal insertamos el módulo de comunicación en la sección correcta.

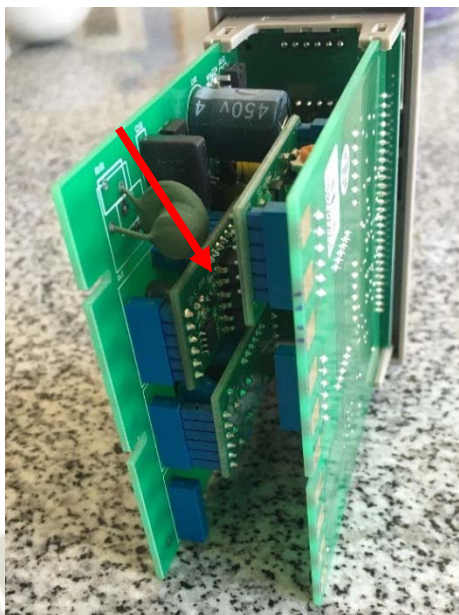


Figura 20: Sección de módulos con el módulo de comunicación colocado
Fuente: Elaboración Propia

(d) Finalmente, una vez colocado el módulo de comunicación se retorna a colocar el panel frontal en su ubicación.



Figura 21: Controlador Yudian
Fuente: Elaboración Propia

(e) Luego siguiendo el manual del dispositivo nos ubicamos en la parte posterior del controlador y conectamos un conversor de RS485 de dos cables a USB desde los terminales 3 y 4.

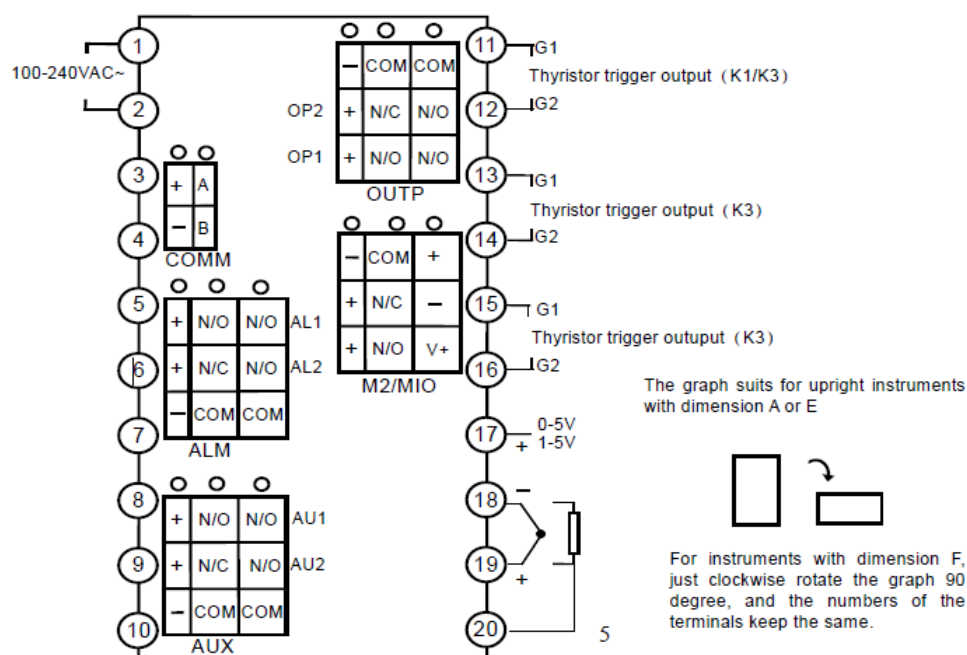


Figura 22: Parte posterior del controlador de temperatura AI708

Fuente: (Yudian (HK) Automation Technology Co., n.d.)

4.2.2. INICIO DE SECUENCIA EN CONTROLADORES DE FLUJO MÁSCO Y PRESIÓN ALICAT SCIENTIFIC

Para iniciar la secuencia con los controladores Alicat es necesario tener en consideración como primer punto su comunicación serial, ya que esta utiliza el estándar MiniDIN 8 por lo cual es necesario que se realice una conversión para lograr la comunicación de más de uno de estos dispositivos a un ordenador.

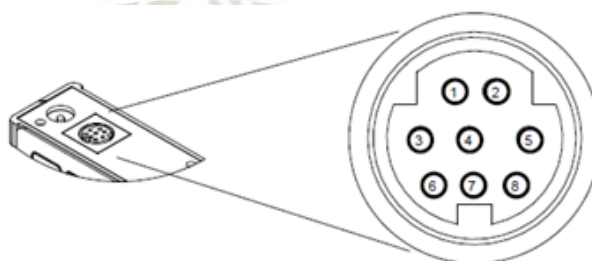


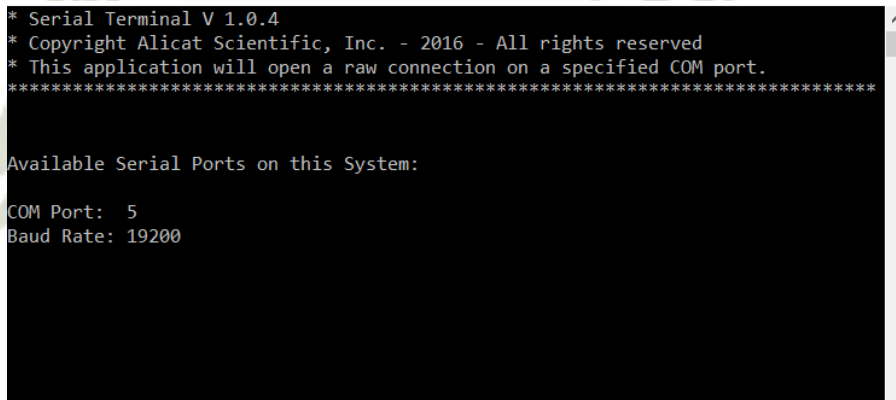
Figura 23: Entrada estándar MiniDIN 8

Fuente: (Alicat Scientific, n.d.)

Se debe realizar la conversión de este estándar a USB para su comunicación por medio de un HUB a un ordenador. Una vez realizado

este procedimiento de conversión debemos seguir los siguientes pasos para inicializar el controlador Alicat con el ordenador.

- (a) Descargar desde la página del fabricante el driver de soporte.
- (b) Junto con el driver se descarga el componente Serial Terminal el cual nos permite ingresar en el controlador e iniciar la comunicación.
- (c) Con la información brindada por el Administrador de dispositivos detectamos el nombre del puerto en el cual está conectado nuestro controlador Alicat y proseguimos a ingresar a Serial Terminal y en este ingresar el nombre del puerto y su velocidad de transmisión.



```
* Serial Terminal V 1.0.4
* Copyright Alicat Scientific, Inc. - 2016 - All rights reserved
* This application will open a raw connection on a specified COM port.
*****
Available Serial Ports on this System:

COM Port: 5
Baud Rate: 19200
```

*Figura 24: Alicat SerialTerminal.exe
Fuente: (Onque, 2017)*

Una vez realizado este procedimiento podemos tener comunicación lista con el controlador Alicat y estaría listo para su uso manual como por medio de un ordenador.

4.2.3. INICIO DE LA COMUNICACIÓN DE CONTROLADORES CON LABVIEW

4.2.3.1. Controlador de Temperatura Yudian

Para poder realizar la comunicación con los controladores Yudian es necesario elaborar un subVI que nos permita iniciar la

comunicación, así como enviarle los comandos más útiles como son ejecutar y detener la secuencia en el controlador y poder enviar los valores de temperatura y tiempo al igual como se puede realizar de manera manual.

El subVI que se encargara de iniciar la comunicación con el controlador debe seguir las instrucciones básicas de este protocolo de comunicación para poder descifrar la estructura del paquete de datos. Las instrucciones de lectura/escritura están estructuradas de la siguiente manera:

Tabla 3: Estructura de datos del controlador Yudian

Lectura	Código de dirección "Addr"	+	52H (82)	+	Código del parámetro a ser leído	+	0	+	0	+	ECC
Escritura	Código de dirección "Addr"	+	43H (67)	+	Código del parámetro a ser escrito	+	LSB del valor a ser escrito	+	MSB del valor a ser escrito	+	ECC

Fuente: (Yudian (HK) Automation Technology Co., n.d.)

Código de dirección "Addr"

Este código sirve para diferenciar hasta 81 dispositivos conectados en la misma línea de comunicación y esta está definida por el parámetro "Addr".

El código de dirección del instrumento es un entero de 2 bytes. Cada byte es un valor en hexadecimal desde 80H hasta D08. El entero de 2 bytes es igual a:

Tabla 4: Parámetro de dirección del controlador Yudian

Dirección	+	80H
-----------	---	-----

Fuente: (Yudian (HK) Automation Technology Co., n.d.)

Haciendo uso de estas direcciones podemos conectarnos al controlador que deseamos y en este poder recibir los datos brindados por el controlador, así como modificar sus parámetros más importantes, para esto es necesario conocer los códigos de comunicación para el protocolo AIBUS, se brindara la información acerca de este protocolo en los anexos. Para realizar la instrucción de lectura el código quedaría de la siguiente manera:

El módulo de:

(	Código de parámetro	*	100H	+	52H	+	Addr	)	/	10000H
---	---------------------	---	------	---	-----	---	------	---	---	--------

$$\frac{(código\ de\ parámetro * 100H) + 52H + Addr}{10000H}$$

Fuente: (Gómez, 2017)

Para realizar la instrucción de escritura quedaría de la siguiente manera:

El módulo de:

(	Código de parámetro	*	100H	+	43H	+	Valor de escritura	+	Addr	)	/	1000H
---	---------------------	---	------	---	-----	---	--------------------	---	------	---	---	-------

$$\frac{(código\ de\ parámetro * 100H) + 43H + Valor\ de\ Escritura + Addr}{1000H}$$

Fuente: (Gómez, 2017)

Para poder reconocer la data recibida del controlador se debe tener en cuenta la siguiente estructura con la que esta llega, y es de la siguiente manera:

El módulo de:

PV	+	SV	+	(	Estado de la alarma	*	256	+	MV	)	+	Valor del parámetro	+	Addr	)	/	1000H
----	---	----	---	---	---------------------------	---	-----	---	----	---	---	------------------------	---	------	---	---	-------

$$\frac{PV + SV + (Estado\ de\ la\ alarma * 256 + MV) + Valor\ del\ parámetro + Addr}{1000H}$$

Fuente: (Gómez, 2017)

Consideración: cuando el controlador recibe una instrucción desde la computadora, el instrumento envía un valor de respuesta que demora entre 0 y 150 ms. La computadora no debe enviar otra instrucción antes de ese tiempo de lo contrario surgirá un error y será necesario que se envíe nuevamente la instrucción de lo contrario será ignorada.

Desarrollo del driver de comunicación en LabVIEW.

Como se puede notar en la imagen inferior se encuentra el desarrollo en código G de la formula realizada en el módulo de lectura, en el cual se describe que el código de entrada a de ser multiplicado por 100 para su escalamiento, seguidamente se le suma 52 que es lo que lo direcciona para su lectura y finalmente se le adiciona la dirección del controlador, se hace uso del bloque Split Byte para separar la trama y recibir la data de manera ordenada.

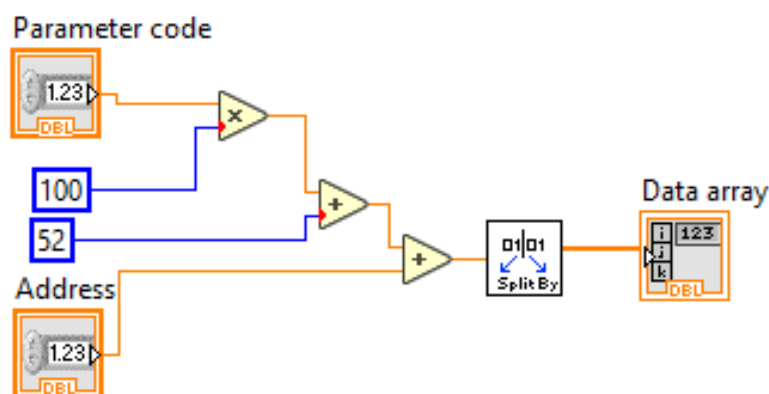


Figura 25: SubVI para realizar la lectura del controlador
Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen se muestra el desarrollo en código G de la formula descrita en la página anterior para la escritura, al igual que en la lectura el código se multiplica por 100 para su escalamiento y ahora se direcciona para su escritura sumándole una constante de 43, de manera seguirá se le adicionara la dirección del controlador y en este caso se agregara al final de todo el valor que se desea escribir, igualmente que en el caso anterior se utiliza un bloque llamado Split Byte que sirve para separar la trama y recibir la data de manera ordenada.

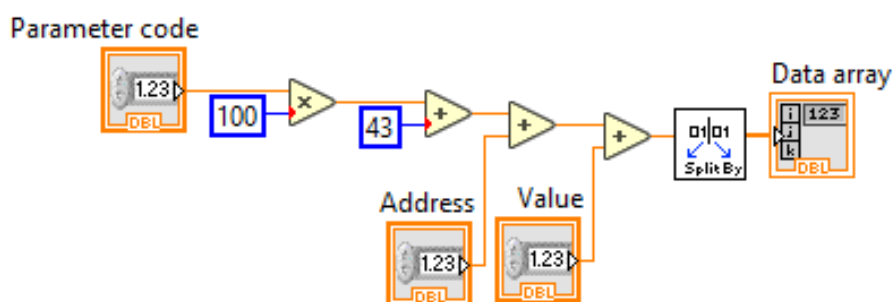


Figura 26: SubVI para realizar la escritura del controlador
Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen se desarrolla en código G el procedimiento necesario para la ejecución del programa que se haya ingresado previamente en el controlador, en este primeramente se debe definir el puerto por el cual se ha conectado el controlador y se deberá enviar una cadena de caracteres en forma de arreglo compuesto por la suma $80 +$ la dirección del controlador, seguido de constantes que se encargaran de escribir e iniciar la comunicación con este, por lo cual este arreglo luego es enviado por medio del bloque de escritura, seguidamente se realiza el proceso de lectura al paquete de datos que recibimos como respuesta y de este separar de esta cadena de datos recibida la temperatura real medida por el controlador.

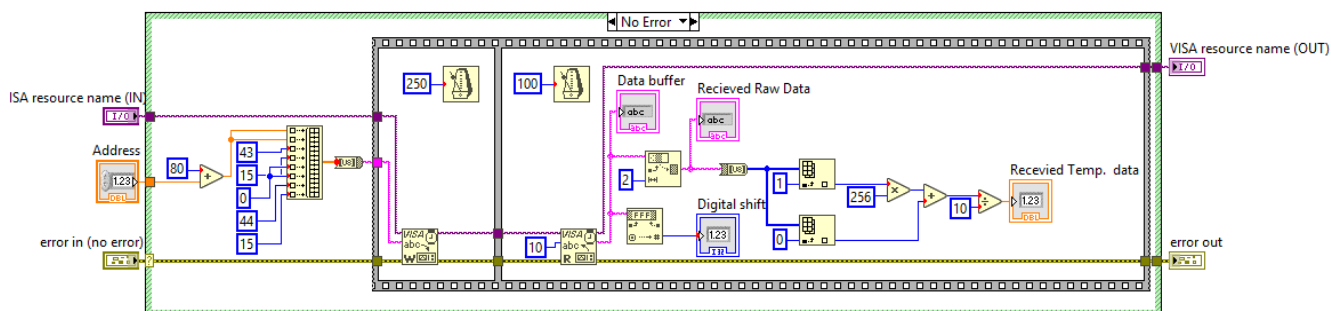


Figura 27: SubVI para iniciar la ejecución del programa en el controlador
Fuente: Elaboración Propia

De manera análoga al proceso descrito para la imagen superior se realiza para detener el programa, haciendo hincapié en la diferencia de la trama que se escribirá ya que en este deberemos enviar el comando C que se interpretará como detener la ejecución del programa en ejecución, pero debe hacerse notar que esto no reiniciará al controlador, sino que solo lo detendrá, para reiniciarlo deberá hacerse uso del comando -121 en su propia configuración.

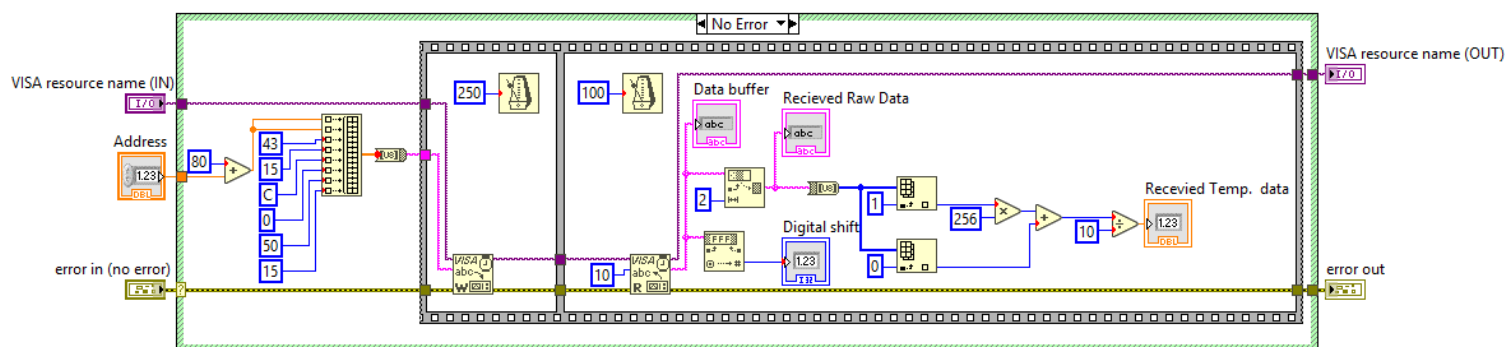


Figura 28: SubVI para detener la ejecución del programa en el controlador

Fuente: Elaboración Propia

Estos cuatro subVI nos permiten tener una comunicación rápida y sencilla con el controlador de temperatura de la marca Yudian de los modelos AI.

4.2.3.2. Controladores de flujo másico y presión Alicat

Para el uso de estos controladores no se necesita adentrarnos en su protocolo de comunicación ni interpretar la cadena de datos que recibimos pues el fabricante nos brinda un driver bastante completo del cual solo es necesario variar la velocidad de transmisión ya que este viene dado en el valor más alto y optimo, pero para esto se necesita un ordenador de alta velocidad de transmisión y además que el proceso en cuestión en este proyecto no lo requiere al ser bastante lento. Los subVI de los cuales se compone este driver principalmente son:

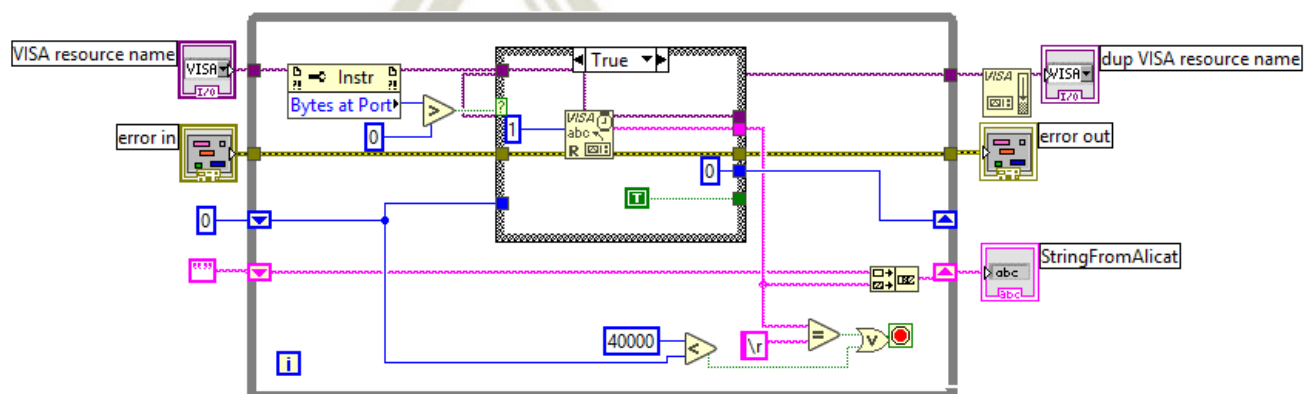


Figura 29: SubVI para leer la información brindada por el controlador

Fuente: (Alicat Scientific, n.d.)

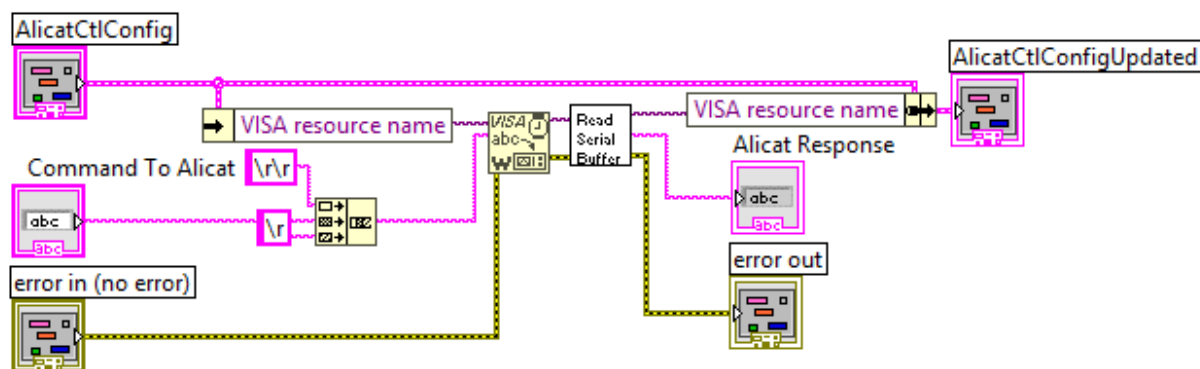


Figura 30: SubVI para escribir Setpoint en el controlador
Fuente: (Alicat Scientific, n.d.)

Para poder sintetizar el contenido de la cadena recibida y separarla en indicadores individuales para cada uno es necesario desarrollar un SubVI para la separación de caracteres de una cadena ya que el driver brindado para los controladores Alicat no cuenta con un VI que nos permita realizar esto de manera correcta.

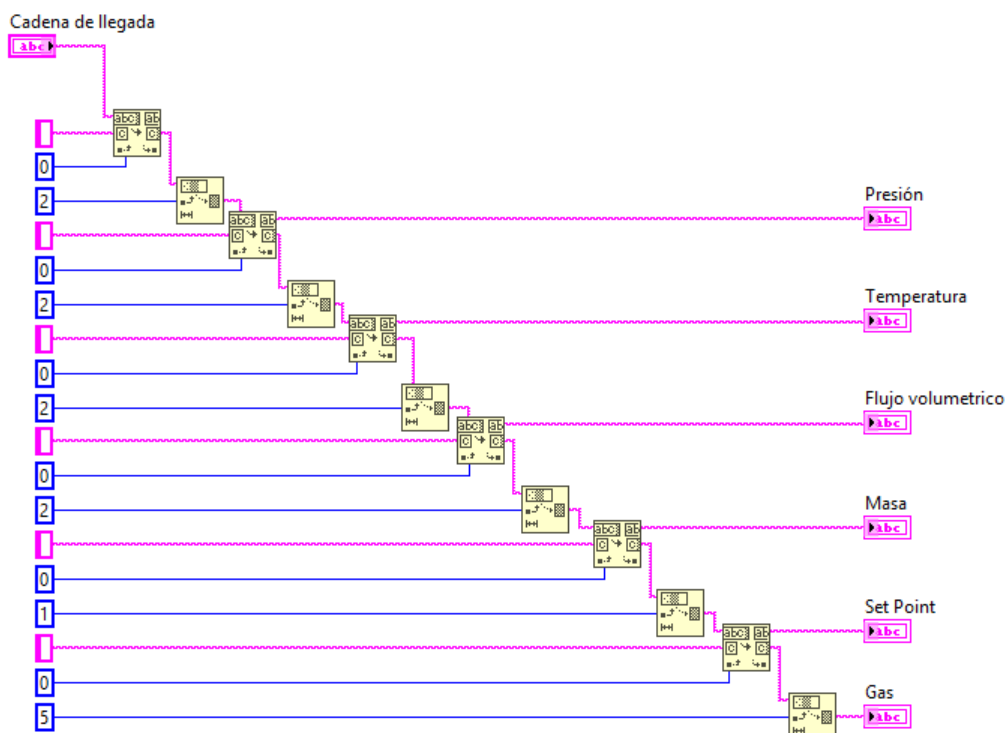


Figura 31: SubVI para separar el contenido de la cadena recibida y mostrarla como cadena de caracteres
Fuente: Elaboración Propia

Para la comunicación con estos controladores es necesario iniciar la comunicación con cada controlador de manera individual adquirir la información, almacenarla y cerrar ese puerto por el cual se comunicó y empezar la comunicación con el siguiente de manera igual y repetir este proceso para los siguientes puertos de comunicación que se conectan a los controladores Alicat ya que estos son comunicación serial y debe ser punto a punto.

Para poder realizar esto de manera cíclica y asegurarnos de la revisión de cada uno de los controladores en cada ciclo utilizamos un bloque secuencial en LabVIEW.

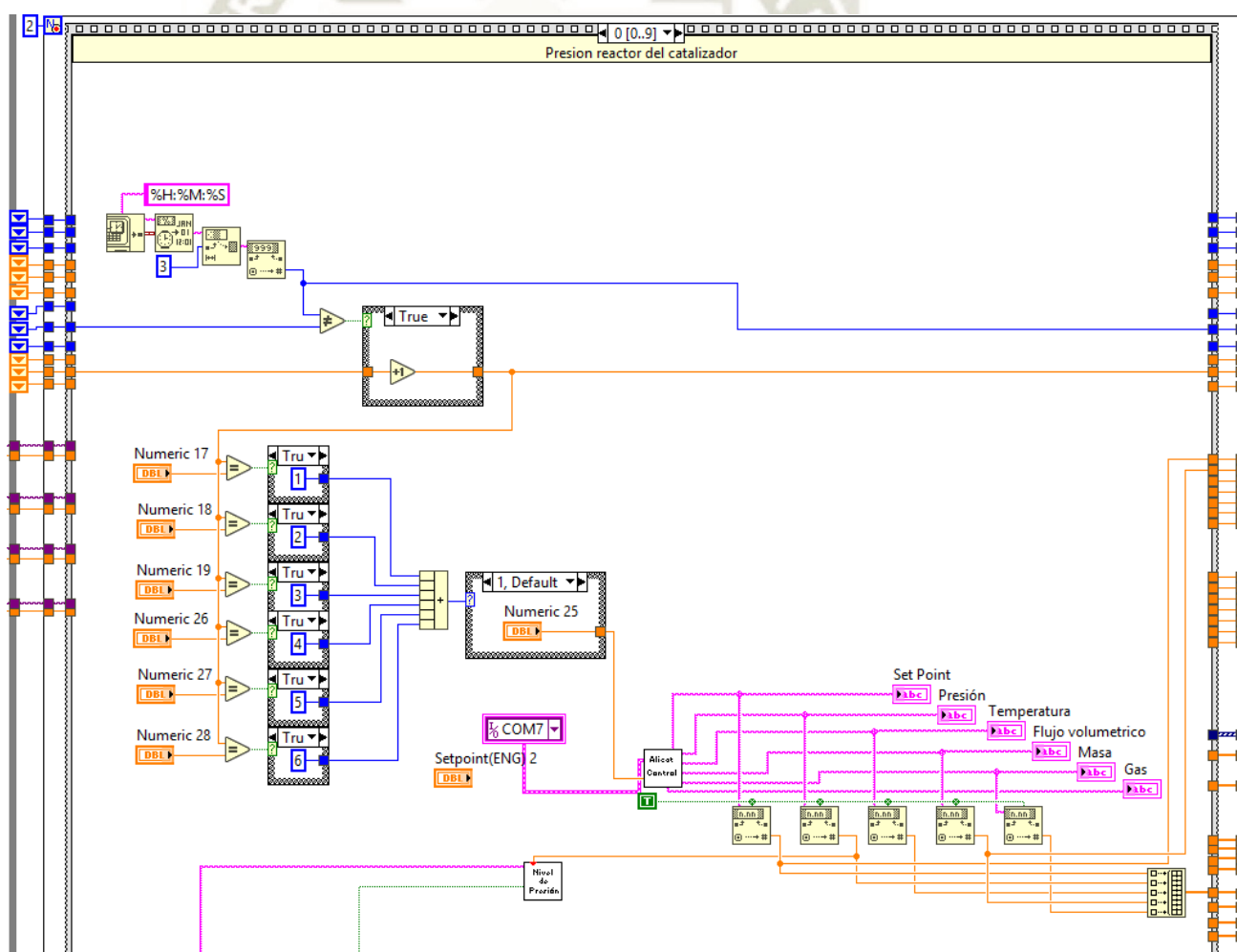


Figura 32: Estructura secuencial para los controladores

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3.3. Tarjeta de Adquisición de datos

Sin duda el componente más sencillo para utilizar en este proyecto es la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments para inicializar estos y hacer uso de este instrumento nos basta con hacer uso del asistente para DAQ brindado por LabVIEW y que nos permite configurarlo y hasta nos enseña la manera para hacer la conexión del dispositivo de medición con la tarjeta de adquisición de datos como se puede notar en las siguientes imágenes que nos mostraran el paso a paso de su configuración.

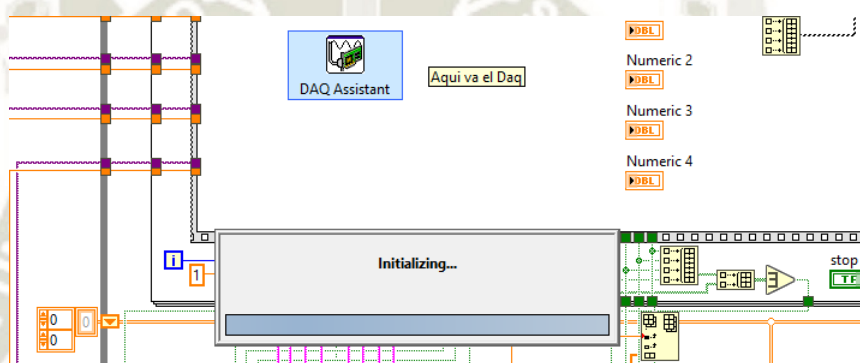


Figura 33: Inicializar el asistente para DAQ de LabVIEW

Fuente: Elaboración Propia

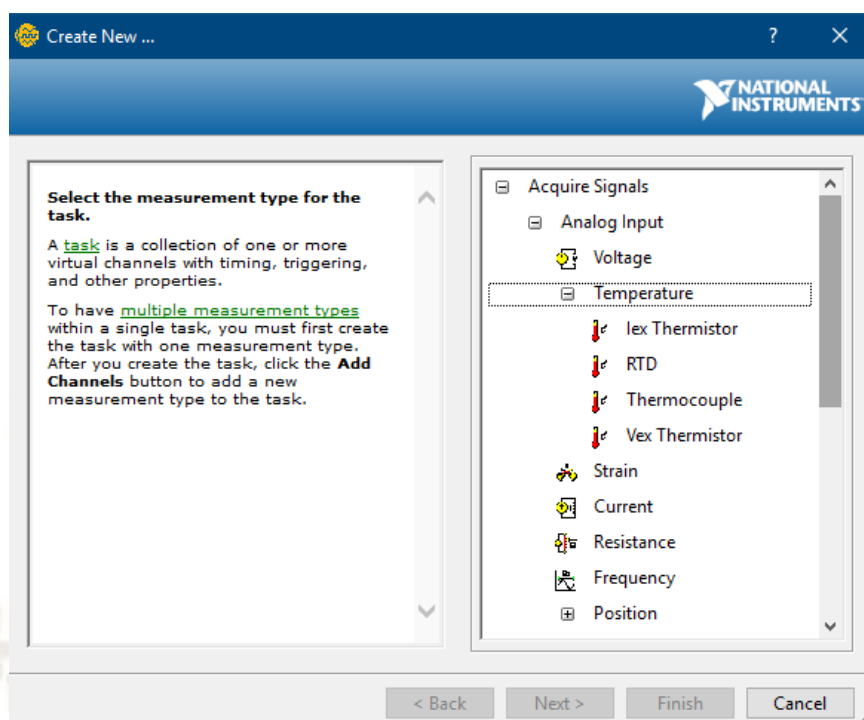


Figura 34: Pantalla inicial del asistente para DAQ

Fuente: Elaboración Propia

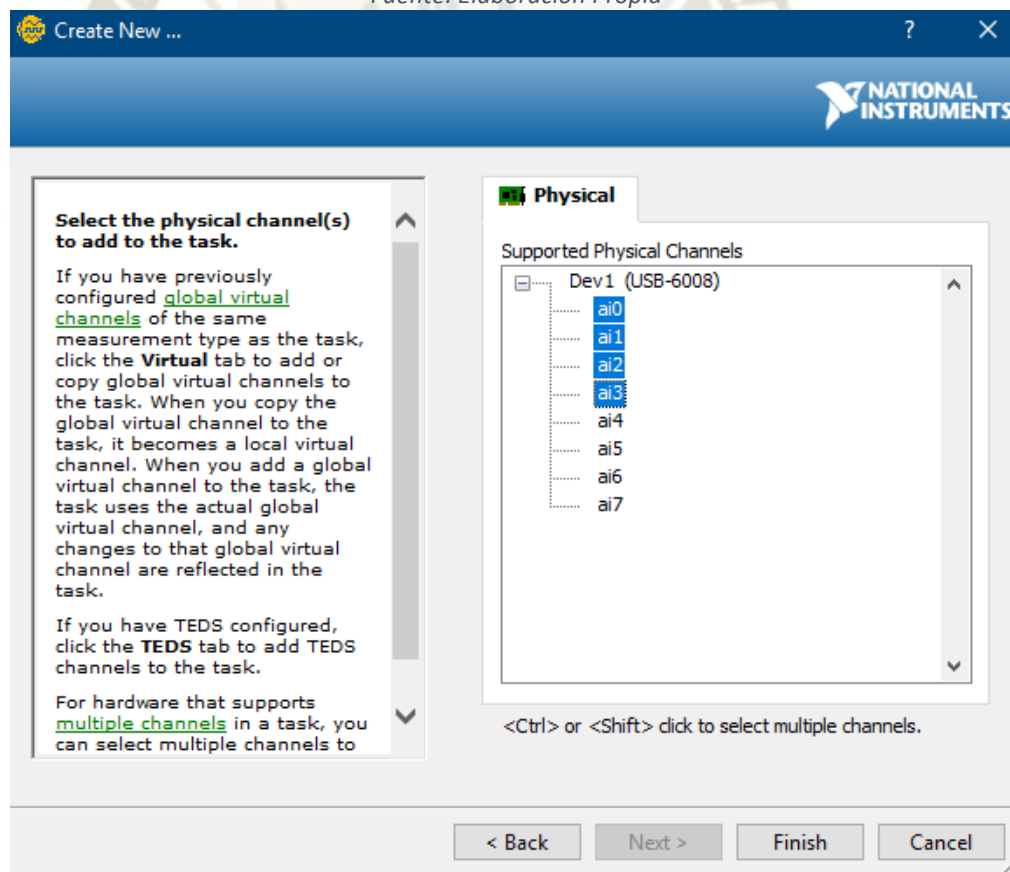


Figura 35: Selección de los puertos a utilizar

Fuente: Elaboración Propia

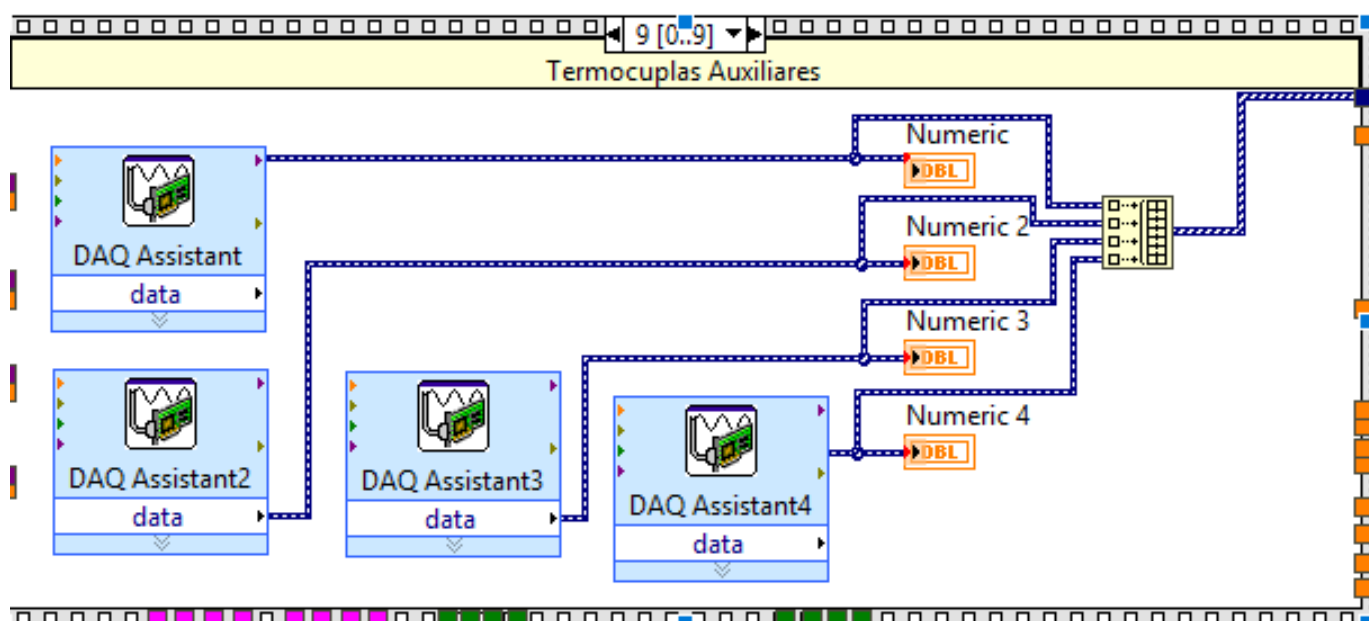


Figura 36: Secuencia que permite la adquisición de datos

Fuente: Elaboración Propia

4.3. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA

Para el desarrollo de la interfaz se utilizó el panel frontal de LabVIEW que nos permite colocar los indicadores, botones y controladores, así como otros objetos interactivos que nos permite tener una interfaz bastante limpia y separada para cada uno de los subprocessos que nos permitirá un entendimiento claro del proceso y de la información proporcionada por los controladores.

Para tener la información más clara se decidió dividir en 4 secciones la pantalla principal, como se podrá ver en las imágenes de a continuación, estas nos permiten supervisar el proceso y los subprocessos además de graficarlos.



Figura 37: Sección que permite programar los controladores de temperatura
Fuente: Elaboración Propia

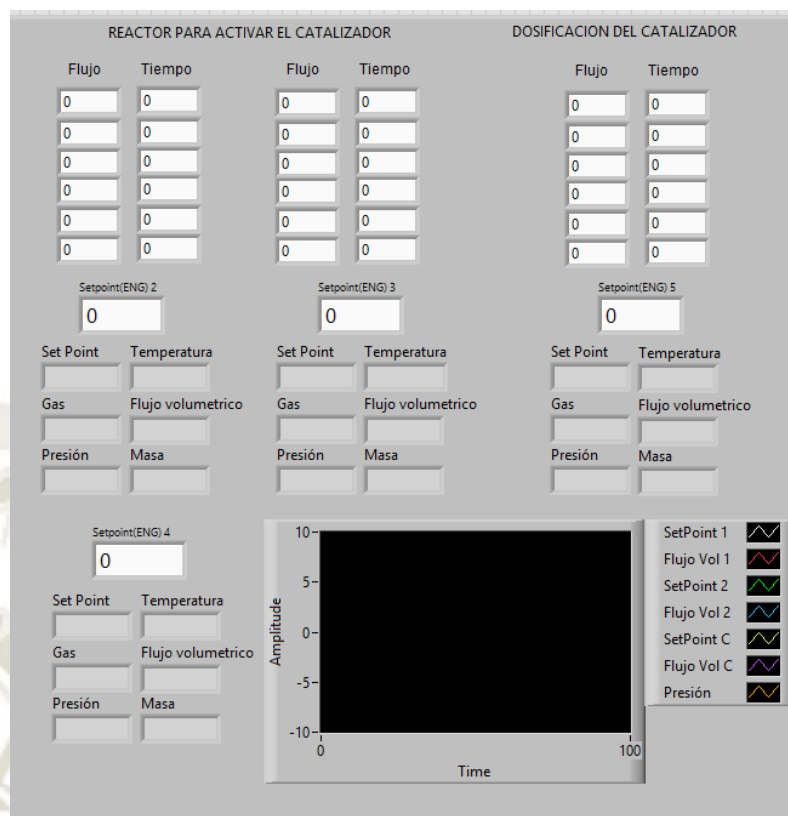


Figura 38: Sección para supervisar los controladores de flujo y presión del reactor secundario
Fuente: Elaboración Propia

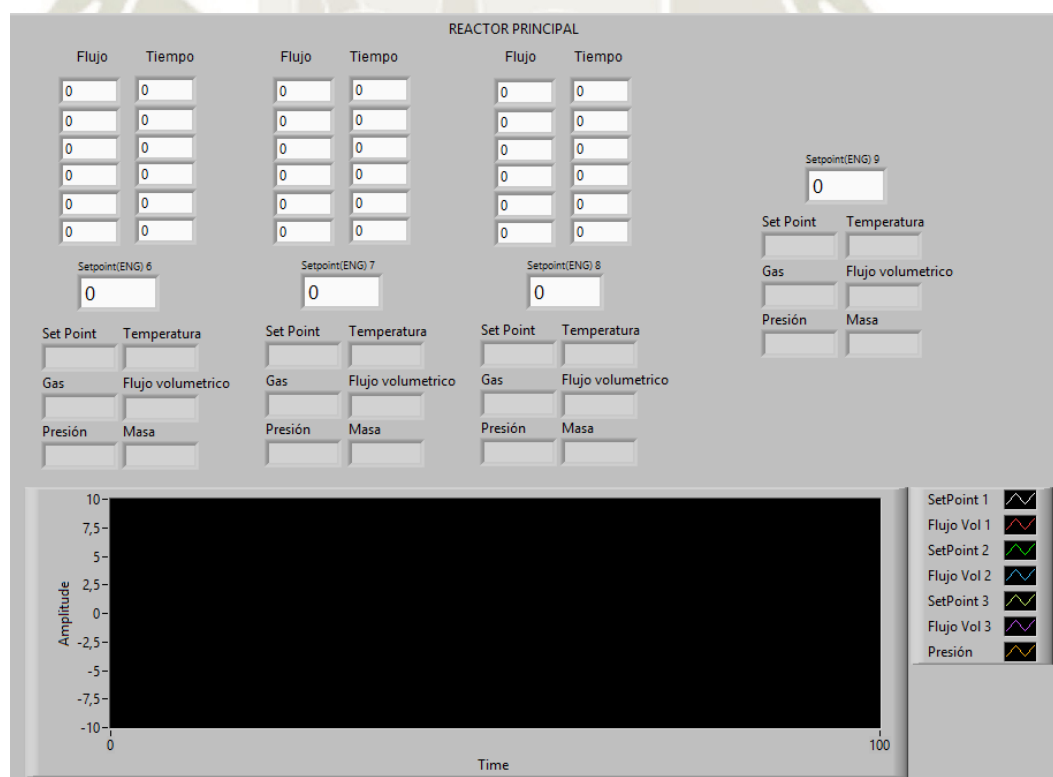


Figura 39: Sección para supervisar los controladores de flujo y presión del reactor principal
Fuente: Elaboración Propia

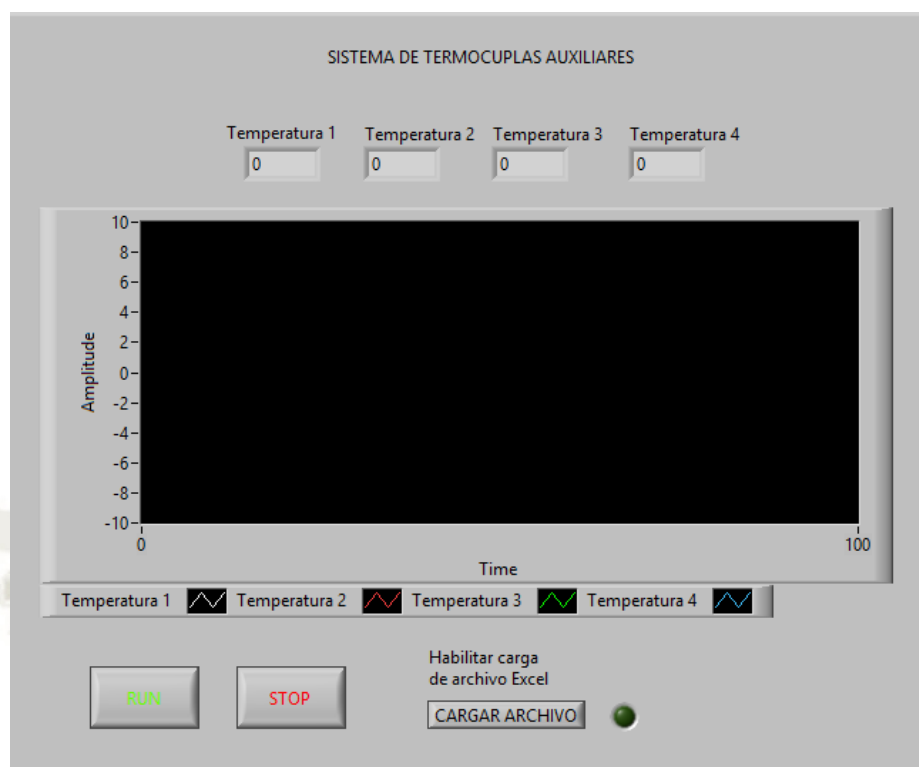


Figura 40: Sección para supervisar la temperatura en cada una de las termocuplas auxiliares

Fuente: Elaboración Propia

4.4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

Se utilizó en el sistema de almacenamiento el Report Generation Toolkit brindado por LabVIEW en su versión 2017, el cual nos proporciona la capacidad para poder almacenar la información de los controladores en Microsoft Excel y los reportes de incidencias que para este caso solo se consideraron caídas de presión en las alimentaciones de los controladores en Microsoft Word.

Para realizar esta tarea se consideró que cada 1 min de muestreo sea registrado ya que es un proceso lento y con ligeras variaciones en el tiempo no es necesario reducir el tiempo de muestreo a menor de 1 min, esto asegura que se almacenen datos de todos los controladores que

poseen comunicación serial en este tiempo y no se omite ninguna por algún error de adquisición más rápida que el tiempo de muestreo.

Para realizar este proceso se tuvo en consideración el orden de la información para su interpretación luego en Microsoft Excel una vez almacenada la prueba, el orden de esta información incluye primeramente a los controladores de flujo másico y presión, luego los controladores de presión y finalmente las termocuplas auxiliares.

Se desarrollo un proceso de orden para el reporte generado en Microsoft Excel que cuenta con encabezados principales que nos separan la información en Reactor principal, Reactor secundario, temperatura de los controladores, y la hora en la cual se obtuvo los datos, y dentro de estos existen sub encabezados que señalan los valores como son Setpoint, Temperatura del gas, presión, flujo volumétrico y masa para cada uno de los controladores Alicat, así como también la temperatura en las 3 zonas del reactor principal y la temperatura en el reactor secundario de activación del catalizador.

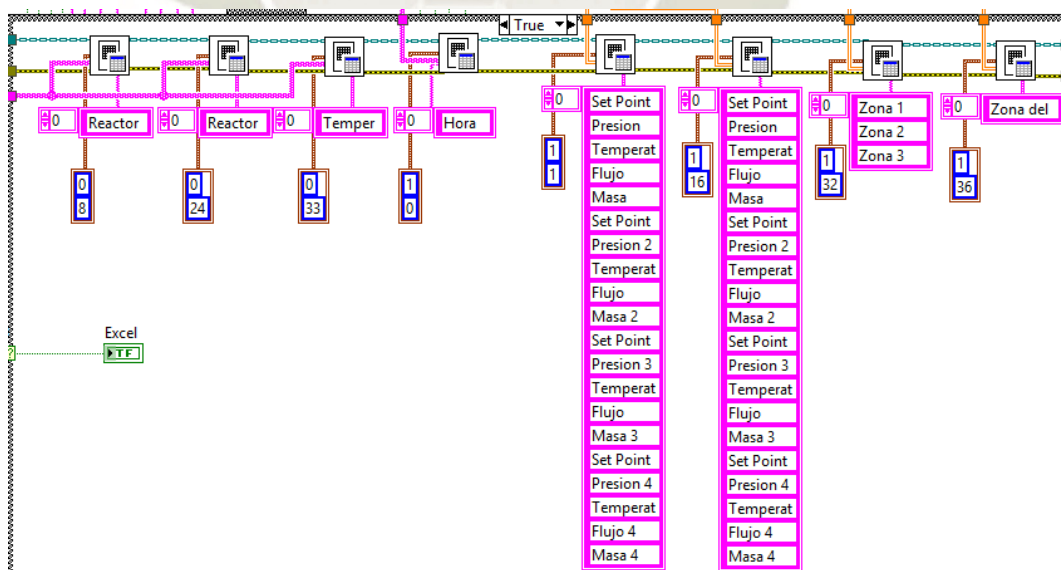


Figura 41: Sección que se encarga del almacenamiento de datos y su orden por medio de encabezados

Fuente: Elaboración Propia

Para la generación de reportes se tomó en consideración el error más común suscitado actualmente en ensayos de este tipo y es la caída de presión en la línea de alimentación del gas suministrado y que resulta un error de alto riesgo al contar con temperaturas que superan los 500 °C y que con gases altamente inflamables como lo es el hidrogeno y metano.

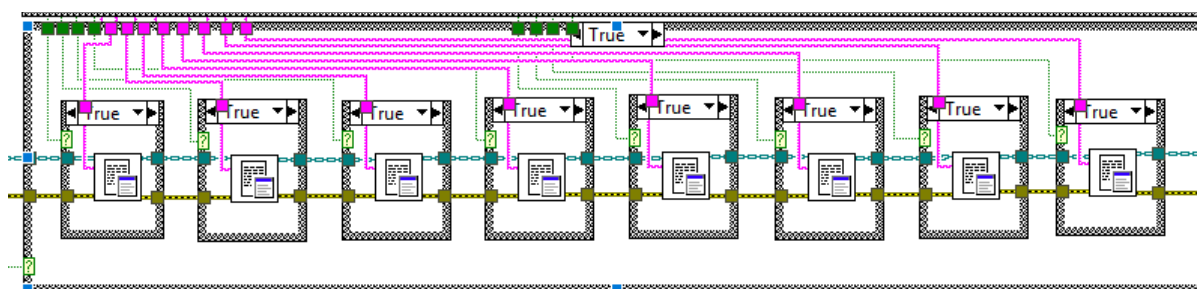


Figura 42: Sección que se encarga del almacenamiento de reportes

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede notar en esta imagen LabVIEW nos brinda la capacidad de exportar archivos a Microsoft Word y Excel por medio del Report Generation Toolkit que se encuentra presente en LabVIEW de manera gratuita desde la versión 2014 y posee todas las características para modificar parámetros dentro de estas aplicaciones, así como exportar tablas, graficas entre otros y modificarles el formato de manera individual y muy sencilla.

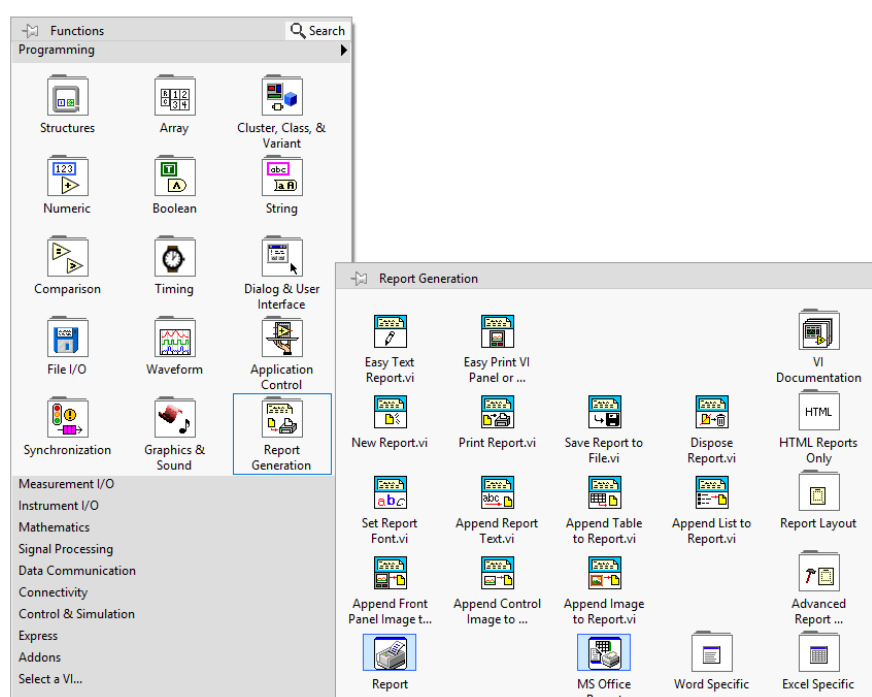


Figura 43: Menú de Generación de Reportes de LabVIEW
Fuente: Elaboración Propia

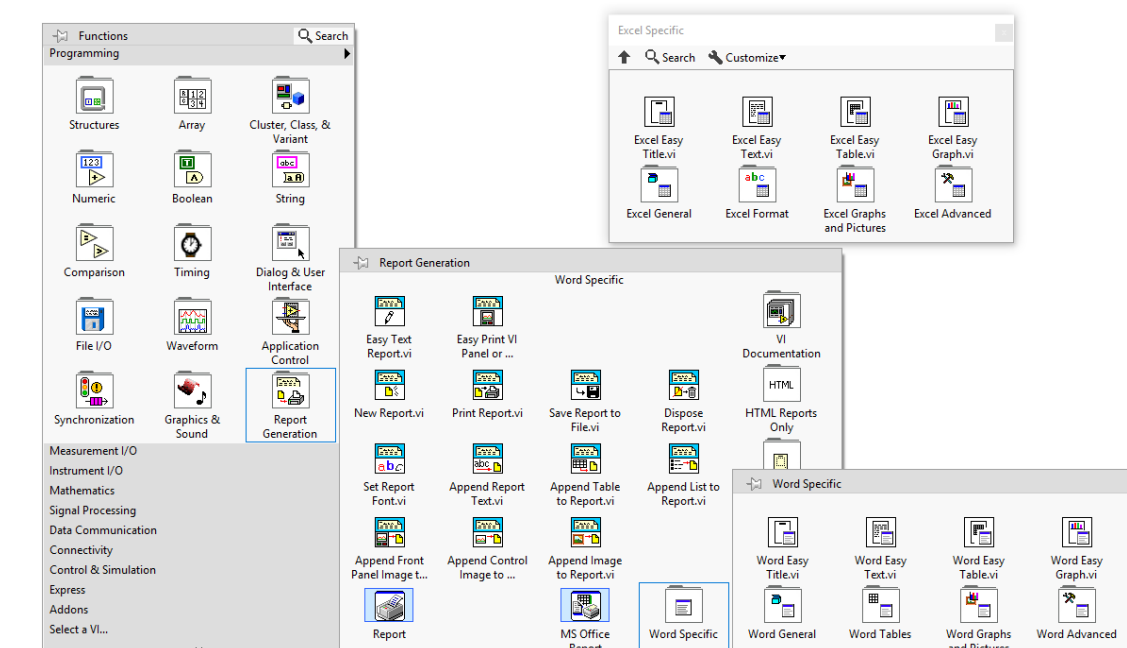


Figura 44: Menú desplegado del Report Generation Toolkit
Fuente: Elaboración Propia

4.5. ORDEN DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

Este programa posee varias etapas de ejecución como se puede notar en el siguiente esquema.

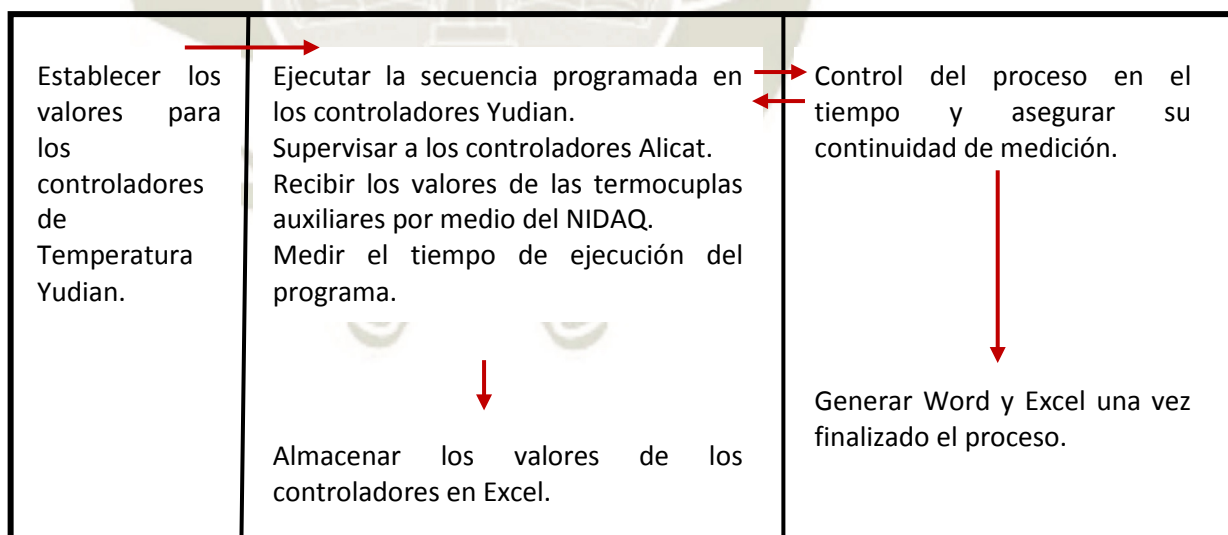


Figura 45: Esquema de ejecución de la aplicación
Fuente: Elaboración Propia

4.6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

4.6.1. ESTABLECER VALORES A LOS CONTROLADORES YUDIAN

Estos controladores cuentan con la propiedad de recibir los valores tanto de temperatura como de tiempo para cada temperatura antes de iniciar el proceso por lo cual es necesario asegurar que se suban al controlador los valores de cada controlador de temperatura antes de que se inicie el proceso, para lo cual se cuenta con un botón de confirmación para el proceso de subida de los valores determinados. Para esto una vez presionado el botón se tomará entre 1 y 2 segundos en subir y se encenderá un led de confirmación ubicado al costado del botón de subir los valores para cada uno de los controladores de temperatura.



Figura 46: Sección para establecer los valores al controlador
Fuente: Elaboración Propia

El pequeño recuadro ubicado en la parte inferior es un indicador que mostrara la temperatura de cada uno de los controladores a lo largo del proceso.

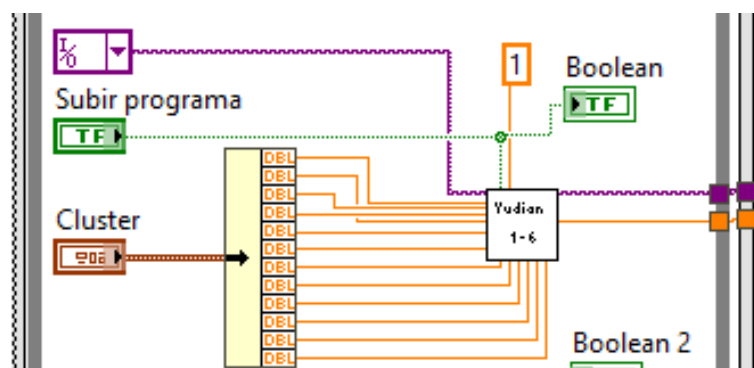


Figura 47: Programar datos de temperatura y tiempo en los controladores

Fuente: Elaboración Propia

En la sección de controladores de temperatura adicionalmente se encuentran presentes dos gráficas, una para el controlador del reactor secundario y otro para los otros 3 controladores del reactor secundario.

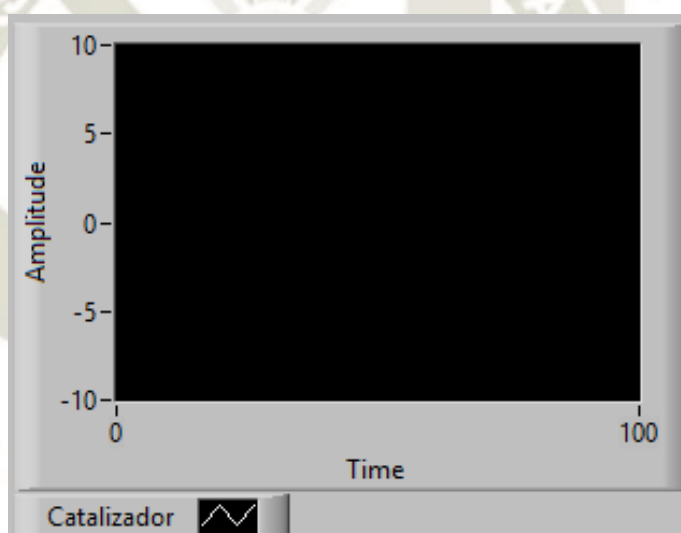


Figura 48: Grafica para el reactor secundario

Fuente: Elaboración Propia

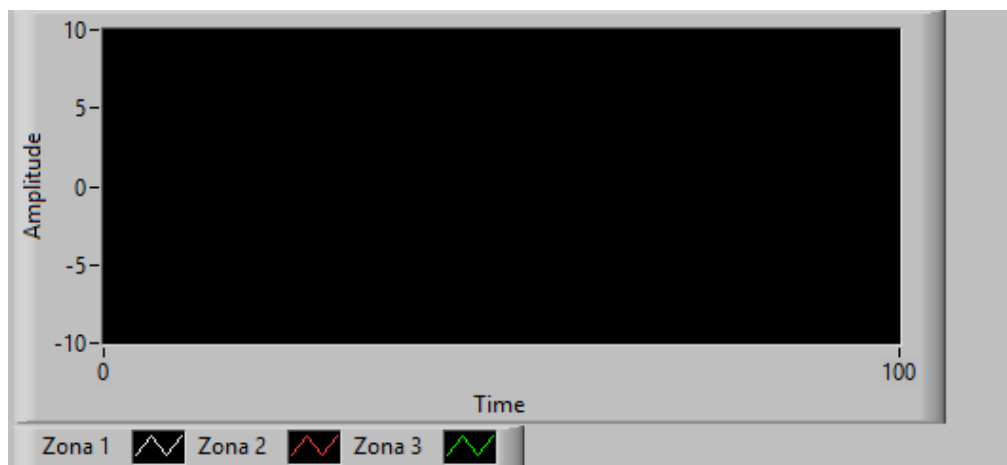


Figura 49: Grafica para el reactor principal

Fuente: Elaboración Propia

4.6.2. CONTROL DE LOS CONTROLADORES ALICAT

Para el control de estos controladores se diseñó un panel que posee 6 espacios para programar flujos y tiempos en los cuales se desea se realicen estos cambios de flujo, adicionalmente de un recuadro que permite modificar el Setpoint en cualquier momento del proceso como si se realizase de manera manual en el mismo controlador, y luego posee 6 espacios que son indicadores para los parámetros que se reciben del controlador a lo largo del proceso.

Flujo	Tiempo
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Setpoint(ENG) 6

0

Set Point	Temperatura
Gas	Flujo volumetrico
Presión	Masa

*Figura 50: Sección del controlador Alicat
Fuente: Elaboración Propia*

Para la comunicación y configuración de los puertos de comunicación de todos los controladores se debe acceder como programador al interior del código y modificarlo desde ahí, esto se realizó para proteger el sistema y evitar que se varíen esos parámetros fundamentales para la ejecución del programa.

4.6.3. INICIAR LA EJECUCIÓN

Para ejecutar el proceso es necesario haber subido primeramente los valores a los controladores de temperatura de las 3 zonas y de activación.

Seguidamente a esto solo basta presionar el botón de “RUN” y el programa empezara a ejecutarse y los controladores de temperatura empezaran a funcionar y será necesario tener la previsión de los tiempos

para colocar los Setpoint en los controladores de flujo másico, los controladores de presión se quedan en su configuración ya que solo deben asegurarse que haya flujo en la salida del mezclador de gases de cada subproceso.

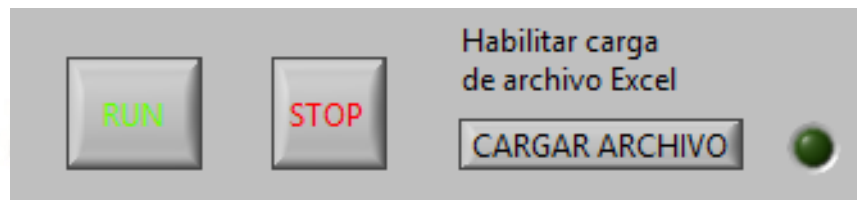


Figura 51: Botones principales del proceso

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede notar en la figura no solo existe el botón para iniciar la secuencia, sino también el botón “STOP” que se encargara de detener el proceso por algún fallo grave, o al terminar el proceso completo y se desee detener todo proceso programado.

A su costado existe otro botón “CARGAR ARCHIVO” este botón se encargara de habilitar la carga del archivo a Microsoft Excel este botón puede ser presionado en pleno proceso si se desea tener una hoja de cálculo para analizar el proceso realizado hasta ese momento, luego al finalizar el proceso se deberá presionar nuevamente para refrescar los datos guardados en Excel con los del proceso completo, al presionar el botón de carga del archivo en Microsoft Excel se encenderá el led que se encuentra a su derecha para confirmar que se realizó correctamente.

CAPITULO V

SIMULACIÓN DEL SISTEMA SCADA

5.1. CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN

Se tomaron ciertas consideraciones para realizar la simulación de este sistema puesto que el módulo al cual se aplicara este proyecto está en etapa de desarrollo del diseño al detalle y se basara en los instrumentos presentes en el módulo ya implementado en el Laboratorio de Investigación de Ciencia de los Materiales en la Universidad Católica de Santa María, y para esto es necesario detallar las características presentes en este reactor y sus similitudes que permitirán realizar una simulación muy cercana a la que se plantea para el módulo de reactor vertical de lecho fluidizado.

Para empezar uno de los detalles más importantes son los controladores, este reactor CVD instalado actualmente cuenta con el uso de 3 controladores de flujo másico y 1 controlador de presión, todos estos de la empresa norteamericana Alicat al igual que los propuestos en este proyecto para su futura implementación en el nuevo reactor, y se hace uso de estos controladores por su excelente funcionamiento ya que nos proporciona muchos parámetros para el estudio de los gases que circulan a través de estos.

Otro detalle íntimamente relacionado en este proyecto con el actualmente instalado es la producción de nanoestructuras a base de carbono, por lo cual el actual reactor también cuenta con los tres tipos de gases a utilizarse: un gas inerte (Nitrógeno), un gas de activación para el catalizador (Hidrogeno) y un gas portador de carbono que permitirá la reacción principal (Metano), estos tres gases nos dan las características necesarias para trabajar tanto en el reactor instalado como en el

propuesto y por lo cual podremos equiparar su funcionamiento y realizar una simulación desde el aspecto químico muy similar.

En el otro aspecto que vendría a ser el relacionado a la temperatura el actual reactor CVD instalado cuenta con tres controladores Yudian AI708 v7.15 que se encargan de controlar la temperatura de las 3 zonas presentes en el reactor, y de manera análoga se realizara en el reactor de lecho fluidizado principal del módulo propuesto para futura instalación, aquí si existe un detalle porque si bien lo óptimo hubiese sido realizar la simulación con los 3 controladores de manera simultánea, como se especificó en capítulos anteriores se requiere de un pequeño módulo de comunicación de la empresa fabricante que permita habilitar la comunicación RS485 con ordenadores y solo uno de los 3 controladores instalados cuenta con este módulo de comunicación por lo cual para la simulación se utilizó este.

Para el aspecto de las termocuplas auxiliares se utilizó una tarjeta de adquisición de datos NIDAQ 6008 que posee muchas menos prestaciones que el propuesto en capítulos anteriores que es la NIDAQ 6001 y por lo cual la adquisición de temperatura se realizó mas no de la manera idónea por falta de precisión, velocidad de respuesta y de escalamiento.

5.2. SIMULACIÓN DEL PROCESO

Para la realización de la simulación se desarrolló un sistema basado en el sistema SCADA principal que permita trabajar con los parámetros descritos en el punto anterior y posee las mismas características y estructura del programa principal como se verá más adelante se realizará una comparación ligera entre el programa realizado para la simulación y el desarrollado y propuesto para el módulo que será

implementado en un futuro en el Laboratorio de Investigación de Ciencia de Materiales.

Como se detalló anteriormente la simulación posee un uso menor de controladores que el del nuevo módulo propuesto pero al poseer gran cantidad de similitudes especialmente en la marca y los modelos de los controladores es que se tomó como referencia el módulo implementado y se basó en este la estructura del programa a escala que representara el funcionamiento y avalara las características principales del programa principal desarrollo como objetivo de este proyecto de tesis, en la siguiente tabla se expondrán las diferencias entre el módulo utilizado para la simulación o modelo a escala y el programa principal planteado y desarrollado para el módulo propuesto y diseñado en el laboratorio tomando en consideración todas sus nuevas características y algunos procesos extras .

Tabla 5: Comparación entre el módulo diseñado y el utilizado para la simulación

Componentes	Modulo diseñado/propuesto	Modulo implementado y simulado
Controladores de flujo másico Alicat	6	3
Controladores de presión Alicat	2	1
Controladores de temperatura Yudian	4	3 (solo 1 cuenta con el módulo de comunicación)
Sistema de temperatura auxiliar(termocuplas)	4	1

Fuente: Elaboración Propia

The image displays a complex control system interface for a catalytic reactor, organized into several functional areas:

- REACTOR DEL CATALIZADOR (Top Left):** Features a table for temperature and time settings, a 'SUBIR' button, and a '0.2' input field. A 'Waveform Chart' shows a plot of Amplitude vs. Time, with a peak around 70 units.
- REACTOR PRINCIPAL (Middle Left):** Includes 'RUN' and 'STOP' buttons, a 'Habilitar carga de archivo Excel' checkbox, and a 'Boolean' indicator.
- DOSIFICACION DEL CATALIZADOR (Bottom Left):** Contains a table for dosification parameters (Set Point, Temperature, Gas, Flow, Pressure, Mass) and a 'Boolean' indicator.
- REACTOR PARA ACTIVAR EL CATALIZADOR (Top Right):** Features a table for activation parameters (Set Point, Temperature, Gas, Flow, Pressure, Mass) and a 'Boolean' indicator.
- Waveform Chart 3 (Bottom Right):** Shows a plot of Amplitude vs. Time, with a sharp peak around 5 units.

The interface uses a color-coded system for status indicators, with green representing 'ON' or 'Active' and red representing 'OFF' or 'Inactive'. The 'Waveform Chart' and 'Waveform Chart 3' provide visual feedback on the system's performance and activation status.

Como se puede notar en la siguiente imagen, se ha conseguido colocar valores iniciales a la temperatura y tiempo del controlador de temperatura Yudian ubicado en la parte superior izquierda, luego de esto se presionó el botón subir para que se carguen los datos en el controlador adicionalmente a esto se ha logrado como se ve en la imagen empezar el proceso programado para la prueba y ya existe información en los indicadores de los controladores de flujo másico así como también en el indicador de temperatura que se ubica debajo del botón de subir del controlador de temperatura, y también ya hay trazas en las gráficas de información tanto de los controladores de temperatura así como el de flujo másico y presión, se nota claramente la similitud de esta interfaz con la interfaz del sistema propuesto para el módulo diseñado que muestra las semejanzas y que las pruebas realizadas en este mantendrán coherencia en el modelo realizado para el módulo principal.

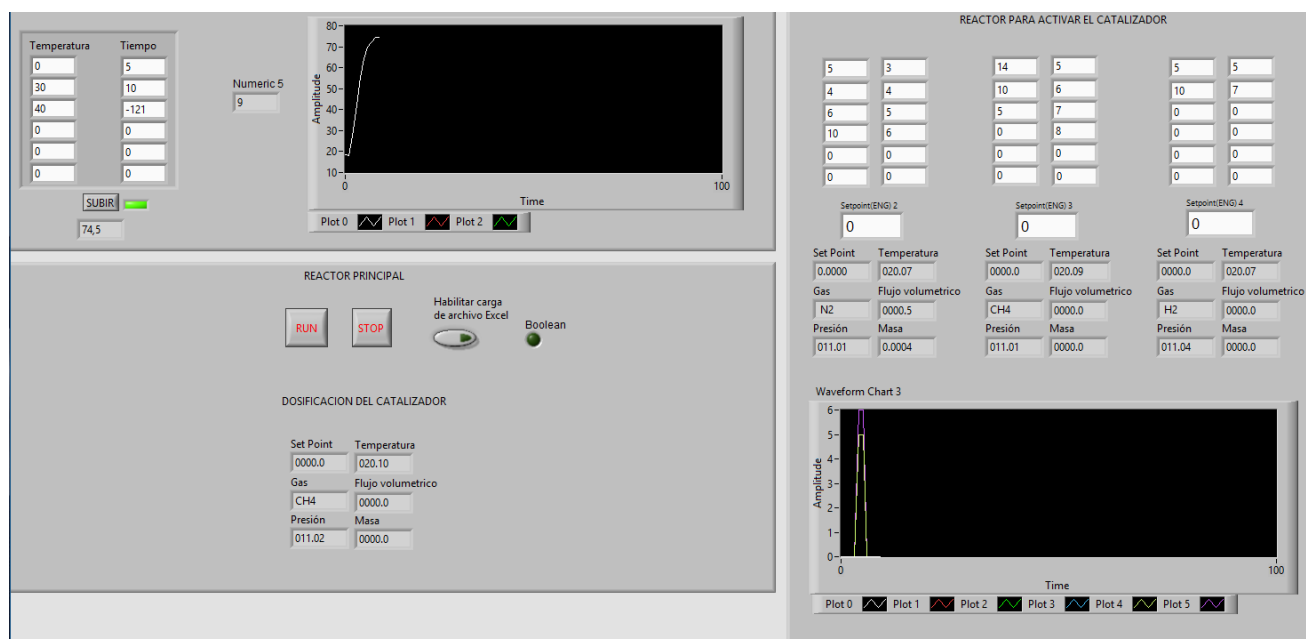


Figura 53: Luz encendida para confirmar la subida de parámetros al controlador de temperatura
Fuente: Elaboración Propia

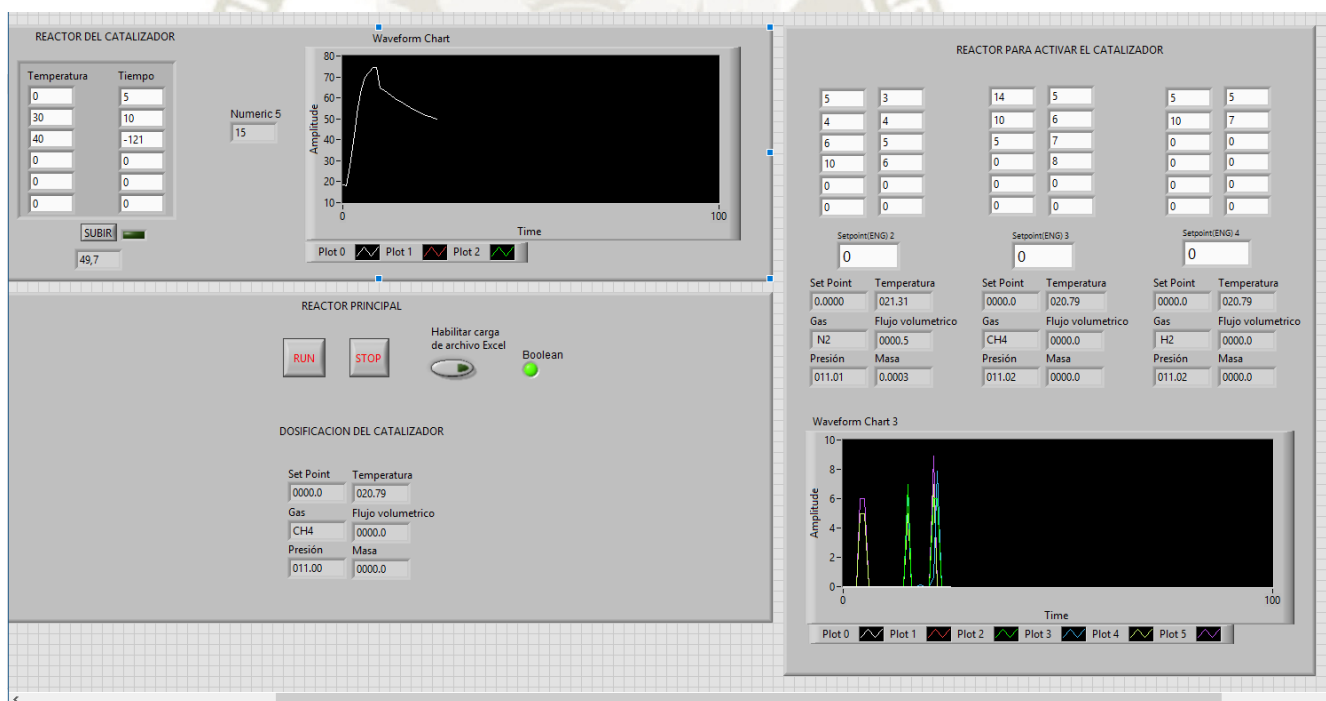


Figura 54: Interfaz de simulación en ejecución
Fuente: Elaboración Propia

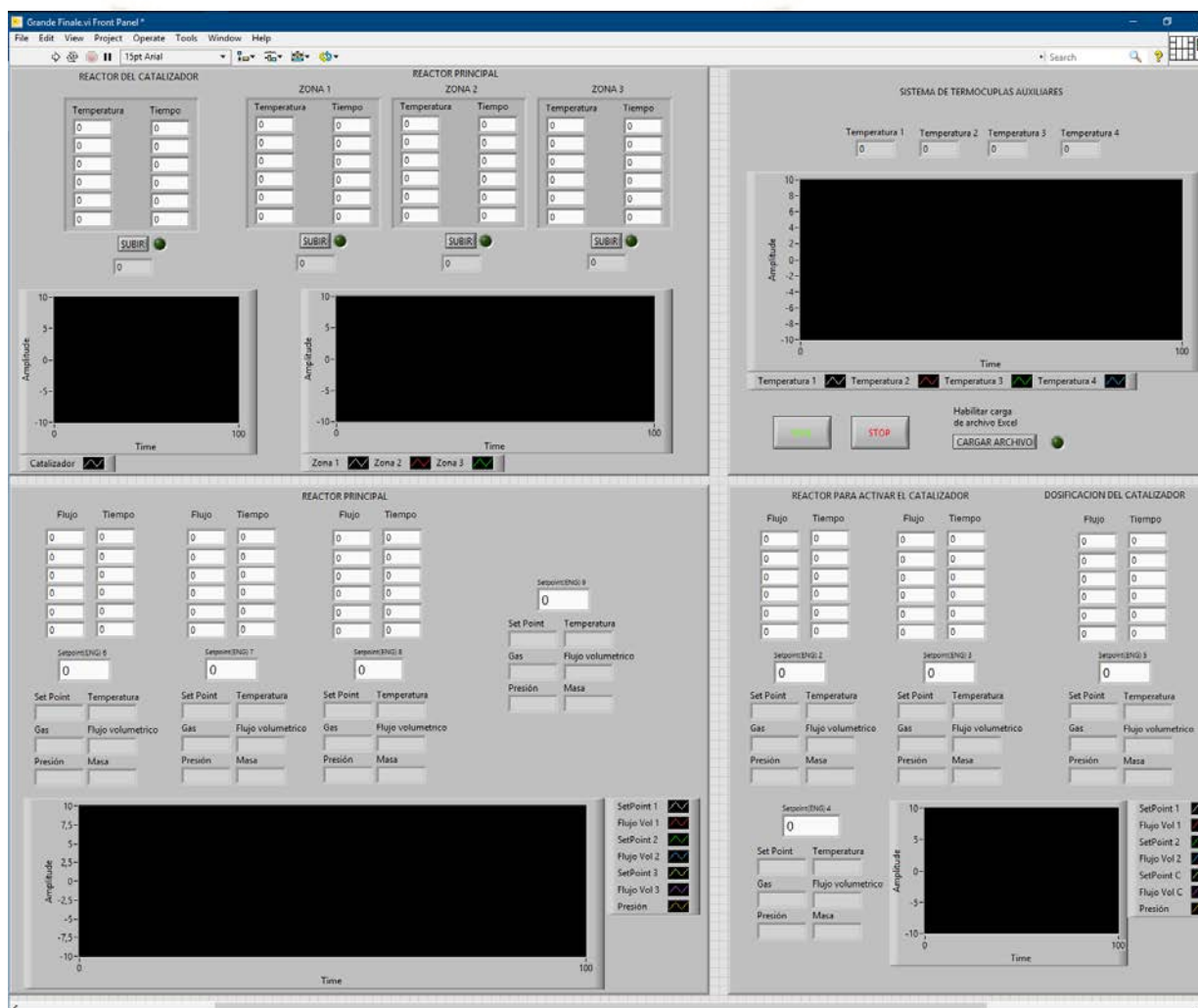


Figura 55: Interfaz del programa completo para el módulo diseñado
Fuente: Elaboración Propia

En estas siguientes dos imágenes se notará el proceso en el cual se sigue obteniendo información y se presionara el botón para habilitar la carga del archivo de datos en Excel, adicionalmente se puede notar que se colocó un Setpoint en el tercer controlador de flujo másico con valor de

10 y se puede notar en contraste con los otros controladores que el valor de flujo volumétrico y masa que varían puesto que tiene un valor programado.

También se puede notar variaciones en la gráfica del controlador de temperatura dependiendo a los valores programados es importante destacar que esta es una simulación con valores de prueba y no los reales de una prueba porque si no debería de programarse la última temperatura en -121 porque ese es el comando que apaga el horno y el controlador.



Figura 56: Interfaz de simulación en ejecución
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede notar en esta figura ya ha sido presionado el botón para habilitar la carga a Excel y se enciende el led que se encuentra a su



derecha.

Figura 57: Interfaz con el led encendido que confirma la carga a Excel
Fuente: Elaboración Propia

Esta son las hojas de cálculo generadas con los datos obtenidos del proceso de simulación y como se puede notar en la primera columna se encuentra la hora de registro y a su costado de manera consecutiva los 6 valores de cada controlador de flujo másico y presión y al finalizar todos estos se encuentra el valor obtenido del controlador de temperatura (en la segunda imagen en la columna final).

Reactor del catalizador	Hora	Set Point	Presion	Temperatura	Flujo Volumetric	Masa	Set Point 2	Presion 2	Temperatura 2	Flujo Volumetric	Masa 2	Set Point 3	Presion 3	Temperatura 3	Flujo Volumetric	Masa 3
1	11:38	0	11	20	0	0	0	11,02	20,39	0	0	0	11,03	20,39	0	0
2	11:39	0	11	20	0	0	0	11,01	20,43	0	0	0	11,04	20,4	0	0
3	11:39	0	11	20	0	0	0	11,01	20,45	0	0	0	11,03	20,42	0	0
4	11:40	0	11	20	0	0	0	11,01	20,48	0	0	0	11,03	20,47	0	0
5	11:41	0	11	20	0	0	0	11,01	20,5	0	0	0	11,02	20,5	0	0
6	11:42	0	11	20	0	0	7	11,01	20,53	6,3	4,8	5	11,22	20,52	6,4	4,8
7	11:43	0	11	20	0	0	0	11,02	20,56	0	0	0	11,1	20,53	0	0
8	11:44	0	11	20	0	0	0	11	20,6	0	0	0	11,03	20,59	0	0
9	11:45	0	11	20	0	0	0	10,99	20,63	0,1	0,1	0	11,02	20,61	0	0
10	11:45	0	11	21	0	0	0	11,01	20,65	0	0	0	11,03	20,64	0	0
11	11:46	0	11	21	0	0	0	11	20,68	0	0	0	11,02	20,68	0	0
12	11:47	0	11	21	0	0	6	11,01	20,7	0,6	0,5	7	11,39	20,68	8,9	7

Figura 58: Primera captura de Excel
Fuente: Elaboración Propia

Set Point 2	Presion 2	Temperatura 2	Flujo Volumetric	Masa 2	Set Point 3	Presion 3	Temperatura 3	Flujo Volumetric	Masa 3	Set Point 4	Presion 4	Temperatura 4	Flujo 4	Masa 4	Zona del Catalizador
0	11,02	20,39	0	0	0	11,03	20,39	0	0	0	11,01	20,38	0	0	64,8
0	11,01	20,43	0	0	0	11,04	20,4	0	0	0	11,01	20,43	0	0	63,5
0	11,01	20,45	0	0	0	11,03	20,42	0	0	0	11,01	20,45	0	0	62,2
0	11,01	20,48	0	0	0	11,03	20,47	0	0	0	11,01	20,48	0	0	61
0	11,01	20,5	0	0	0	11,02	20,5	0	0	0	11	20,49	0	0	59,7
7	11,01	20,53	6,3	4,8	5	11,22	20,52	6,4	4,9	0	11,01	20,53	0	0	58,4
0	11,02	20,56	0	0	0	11,1	20,53	0	0	0	11,02	20,58	0	0	57,4
0	11	20,6	0	0	0	11,03	20,59	0	0	0	11	20,6	0	0	56,3
0	10,99	20,63	0,1	0,1	0	11,02	20,61	0	0	0	11,01	20,63	0	0	55,4
0	11,01	20,65	0	0	0	11,03	20,64	0	0	0	11,01	20,65	0	0	54,3
0	11	20,68	0	0	0	11,02	20,68	0	0	0	11,01	20,69	0	0	53,4
6	11,01	20,7	0,6	0,5	7	11,39	20,68	8,9	7	6	11,01	20,71	7,9	6	52,5

Figura 59: Segunda captura de Excel
Fuente: Elaboración Propia

La finalizar el proceso (cuando se presiona el botón “STOP”) en ese momento se guardara tanto el archivo de Excel como el de Word que posee la generación de reportes como se podrá ver en las siguientes imágenes se presiona el botón para terminar el proceso y en ese momento se guardaran ambos archivos, mas no se cerraran para que se pueda analizar de manera inmediata si se desea, pero ambos archivos ya estarán guardados para casos prácticos se destinó guardarlos en el escritorio.

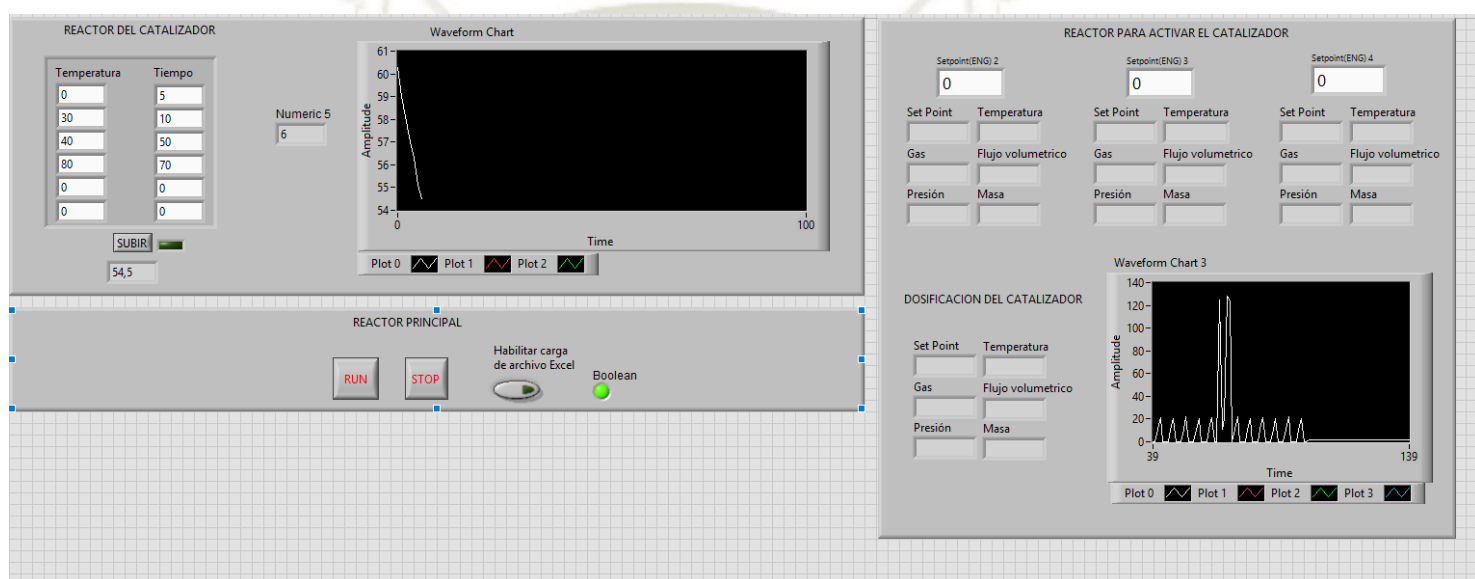


Figura 60: Interfaz de simulación antes de ser detenido
Fuente: Elaboración Propia

Nota: es importante destacar que en la imagen anterior no se encuentran valores en los cuatro controladores de flujo y es porque se los desconecto para forzar a recibir el error de medición de presión y se registre en el Word de generación de reportes de la imagen inferior.

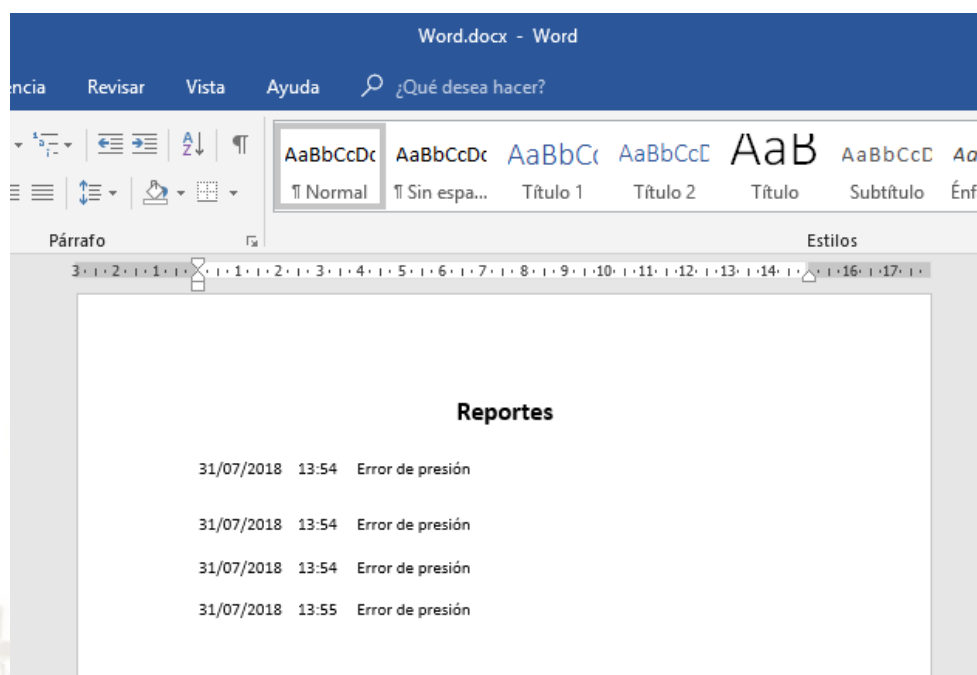


Figura 61: Archivo de generación de reportes en Word
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente realizaremos la comparación entre un segmento de código para que se note la variación entre el programa utilizado para la simulación y el programa completo para de esta manera validar su semejanza y por ende su funcionamiento a escala que representara el óptimo funcionamiento del programa desarrollado, así como las características que este posee.

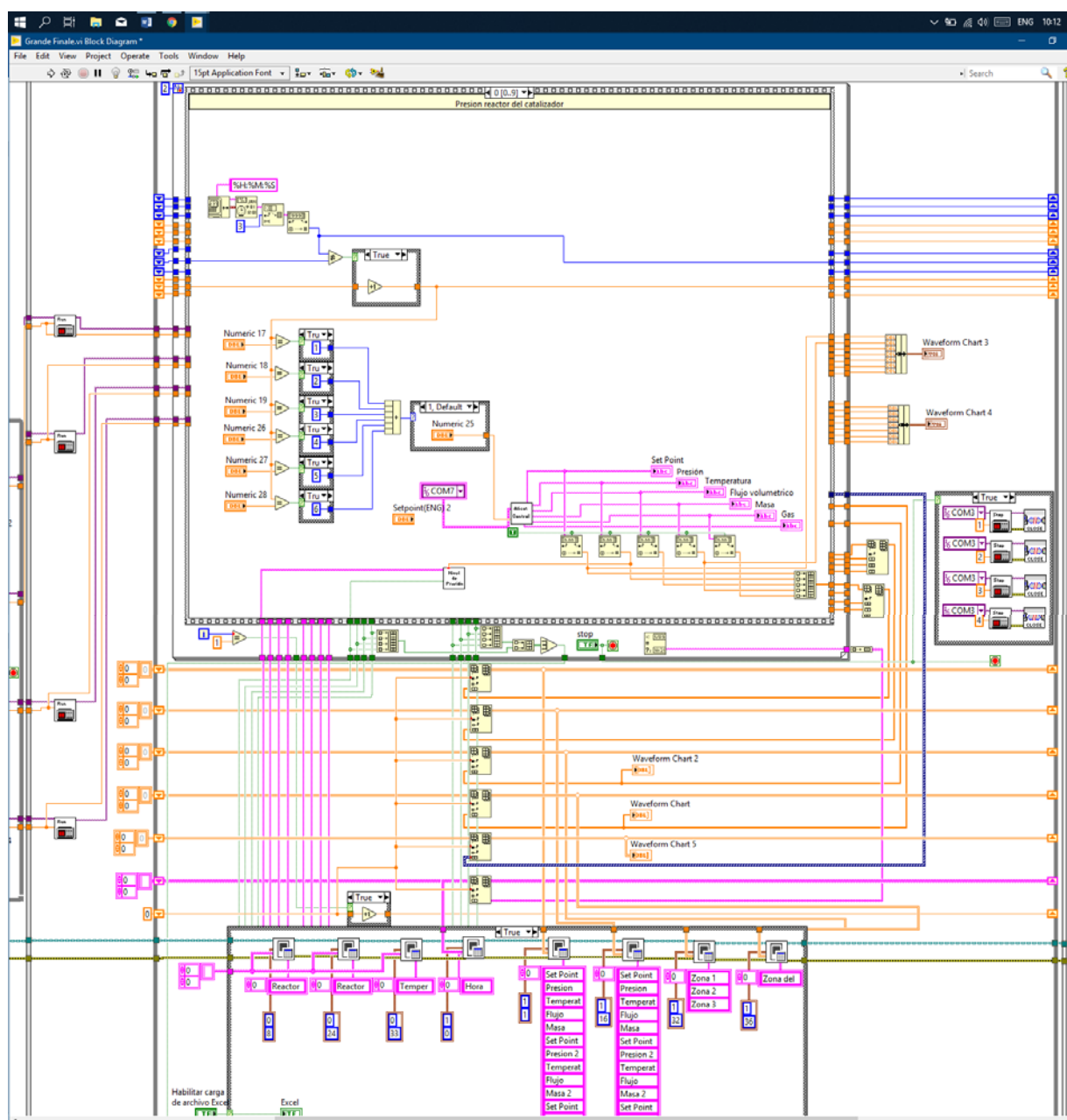


Figura 62: Código en lenguaje G del programa principal
Fuente: Elaboración Propia

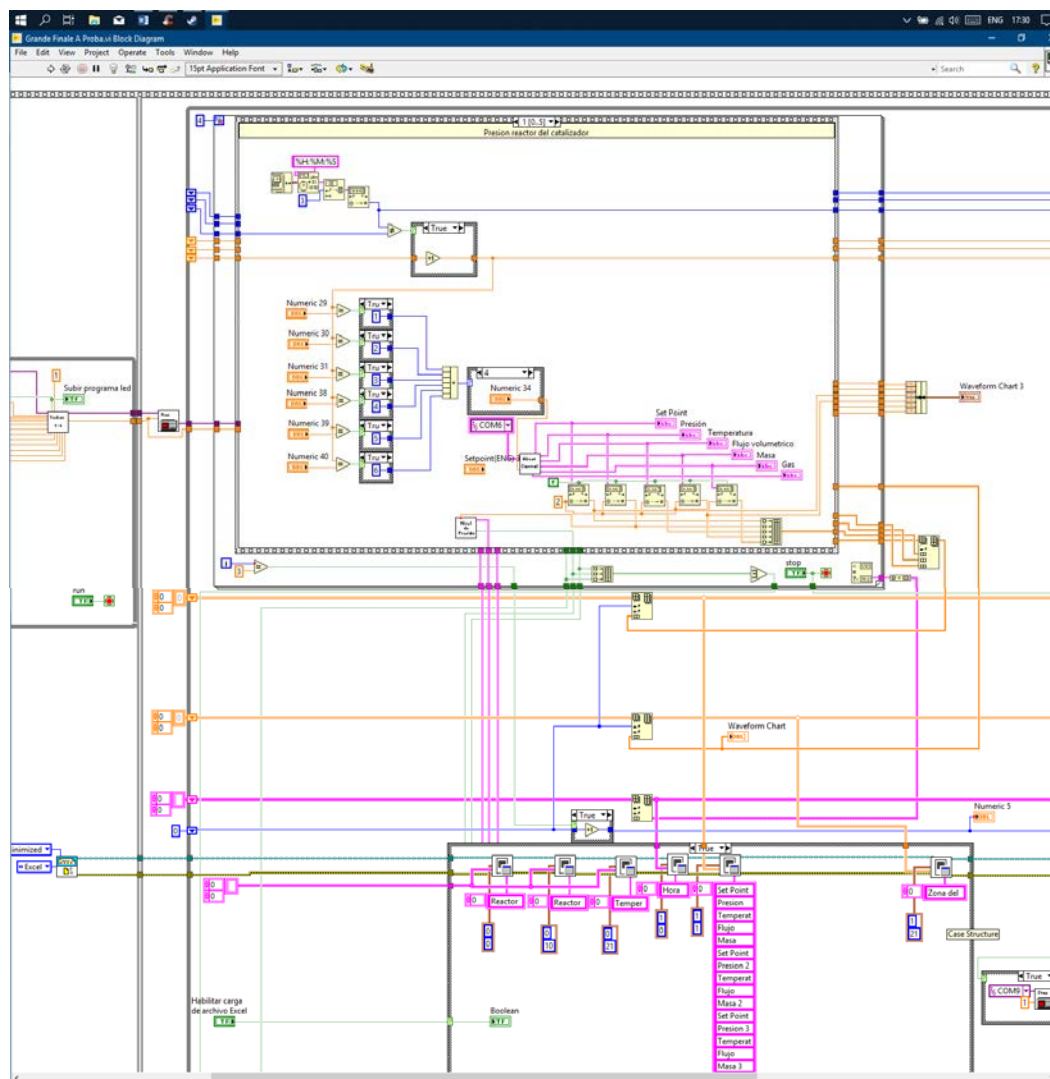


Figura 63: Código en lenguaje G del programa para la simulación
Fuente: Elaboración Propia

5.3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA SCADA

Básico:

- Sistema Operativo: **Windows 7, 8**
- Procesador: **Core i3 de Intel**
- Memoria: **4Gb de RAM**
- Almacenamiento: **100 Mb de espacio disponible**

Recomendado

- Sistema Operativo: **Windows 8.1, 10**
- Procesador: **Core i5 de Intel o Superior**
- Memoria: **8Gb de RAM**
- Almacenamiento: **200 Mb de espacio disponible**

5.4. PRESUPUESTO

Cantidad	Componente	Moneda	Precio Unitario	Precio
6	Controlador Alicat flujo másico	USD	1215,00	7290,00
2	Controlador Alicat presión	USD	1015,00	2030,00
4	Controlador Yudian AI 508	USD	204,80	819,20
4	Termocuplas tipo J	USD	15,00	60,00
4	Módulos de comunicación Yudian	USD	22,20	88,80
4	Conversores RS 485 dos hilos a USB	USD	5,00	20,00
1	Licencia de LabVIEW Professional 2017	USD	5500,00	5500,00
1	Ordenador de sobremesa	USD	1550,00	1550,00
1	Tarjeta de Adquisición de Datos NiDAQ USB6001	USD	358,00	358,00
1	Cable resistente a humedad, químicos y grasas 25m	USD	11,00	11,00
8	Conversores de MiniDIN 8 a USB	USD	25,50	204,00
2	HUB de 7 puertos USB	USD	21,30	42,60
			Total	17973,60

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar y probar un sistema SCADA para el control de un reactor vertical de lecho fluidizado que cuenta con tres procesos principales para la producción de nanoestructuras a base de carbono.
- Se definió los procesos presentes en este proyecto dividiéndolos en 3 sistemas principales (sistema de activación para el catalizador, sistema de reacción principal, sistema de almacenamiento) y subsistemas secundarios presentes en cada uno de estos.
- Se diseñó los procesos y secciones a tener presentes en la interfaz Hombre Máquina para tener una interfaz bastante limpia y sencilla para su uso.
- Se logró realizar el sistema de comunicación entre los diversos tipos de controladores e instrumentos para la adquisición de datos y también su control remoto, y se logró realizar el enlace de la aplicación de software utilizada con la suite de Office para su mejor compatibilidad.
- Se colocó una alarma principal para el error más riesgoso que es la caída de presión en los gases de alimentación del reactor tanto de activación como en el reactor principal.
- El error existente más frecuente en el funcionamiento de un sistema así con estos controladores se dio por el HUB de conexión utilizado que no era de las mejores prestaciones, así como la conversión existente de MiniDIN a USB pues es bastante empírica.

- Para la simulación se utilizó un sistema a escala del modelo diseñado que ya se encuentra implementado en el laboratorio de ciencia de materiales y que posee características muy semejantes.
- Este proyecto incluye varios aspectos del desarrollo de un entorno de control y supervisión puesto que se necesitó desarrollar un driver para un controlador que no proveía esa clase de soporte, también se logró comunicar a más de 3 controladores de manera simultánea y registrar la información de la manera deseada, se pueden cambiar los parámetros del proceso en tiempo real para de esta manera centralizar en un ordenador todo el proceso realizado en varios sistemas para el módulo diseñado.
- Este trabajo trae como aporte la implementación de una comunicación confiable y segura entre los controladores y el ordenador administrador, adicionalmente a esto la sencillez para su escalamiento si se requiere ampliar la cantidad de controladores a conectar, así como base para otros módulos de prestaciones similares, así como el desarrollo de bloques que permitirán el uso de controladores de temperatura económicos y de esta manera.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras implementaciones la consideración de trabajar con controladores de temperatura con mayor presencia industrial que posean mayor soporte al usuario para su desarrollo de aplicaciones ya que los controladores presentes actualmente son bastante eficientes y muy económicos pero una desventaja presente en estos es la falta de soporte proporcionado por el fabricante para diversas aplicaciones y su hardware modular que no permite su uso en diversas aplicaciones sin haber adquirido los módulos adecuados con anterioridad, adicionalmente a esto el protocolo de comunicación que es propio y no permite su combinación con comunicación industrial sin hacer uso de un conversor.
- Al trabajar con gases altamente inflamables como los son Hidrogeno y Metano siempre se debe tener extremo cuidado en su uso y supervisión por el riesgo permanente de explosión.
- Se recomienda usar la tarjeta de adquisición de datos NIDAQ 6001 o una especializada en termocuplas para obtener una medida fidedigna de las termocuplas.
- Se recomienda la implementación adicional de un UPS que permita mantener la alimentación al reactor de al menos unos cuantos minutos que en caso de corte de suministro eléctrico del tiempo suficiente para que reciba el cambio de suministro por el grupo electrógeno presente en la Universidad y que de esta manera no se estropee el ensayo y se pierda la información del proceso.

- Es necesario enviar el comando para detener la ejecución del proceso en los controladores de temperatura al final de los valores colocados en la interfaz.



BIBLIOGRAFÍA

- Alicat Scientific. (s.f.). *ALICAT*. Obtenido de <https://www.alicat.com/>
- BBC. (s.f.). *BBC*. Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150820_c02_nanofibras_carbono_lp
- Carat Systems. (2017). Obtenido de <http://www.caratsystems.com/cvd.html>
- Conesa, J. (2010). *Reactores de lecho fluidizado*. Alicante: Universidad de Alicante.
- EPS Logix. (s.f.). Obtenido de <http://www.eps-logix.com/wp-content/uploads/2014/07/SCADA.jpg>
- Fernandez, S. T. (2013). *Simulación en código MATLAB de un reactor para la gasificación de Biomasa en lecho fluidizado burbujeante*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Geocities. (11 de Diciembre de 2012). *Funciones del Sistema SCADA*. Obtenido de http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/FUNCIONES_DEL_SISTEMA_SCADA.html
- Gómez, C. (2017). *Implementación e Integración del Sistema de Control de un Reactor CVD para la Obtención de Trazas de Fibra de Carbono*. Arequipa: UCSM.
- IEEE. (2018). *IEEE*. Obtenido de <https://www.ieee.org/>
- Manu Systems. (2017). *MANU SYSTEMS*. Obtenido de <https://en.manu-systems.com/DEV-USB-RS485.shtml>
- Microsoft. (26 de Mayo de 2017). *Microsoft*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es>
- MTI Corporation. (2013). *MTI Group*. Obtenido de <http://www.mtixtl.com/furnacecontroller.aspx>

- National Instruments. (Abril de 2001). *Report Generation Toolkit User Manual*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/322880a.pdf>
- National Instruments. (2014). *User Guide NI USB6001*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/374259a.pdf>
- National Instruments. (2018). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com>
- National Instruments. (s.f.). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/shop/select/multifunction-io-device?modelId=124894>
- Onque, M. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE TRAZAS DE FIBRA DE CARBONO EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA*. Arequipa, Perú: UCSM.
- Priya, S., Kumar, V., Mathew, S., & Kalamdani, A. (2015). *Design and Process control of Siemens polysilicon CVD reactor*. Kurnool, India: IEEE.
- Rivas, M., Román, J., & Cosme, M. (2007). *Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbono*. Madrid: Fundación madri+d para el Conocimiento.
- Saboya, N., & Forero, G. (2012). Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485. *Ingenio Libre*, 86-94.
- Universidad Complutense de Madrid. (2007). *Ingeniería de Superficies y Materiales Nanoestructurados*. Obtenido de http://webs.ucm.es/info/tuma/quimicas_superficie/cvd.html
- Wikipedia. (5 de Diciembre de 2017). *Fluidización*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Fluidización>
- Wikipedia. (11 de Abril de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/>
- WonderWare. (s.f.). *Wonderware España*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/>

- Yudian (HK) Automation Technology Co. (n.d.). *Yudian*. Retrieved from <https://www.yudian.com.hk/>
- Zimmerman, H. (2015). *IEEE Transactions on Communications*. Obtenido de https://www.comsoc.org/livepubs/50_journals/pdf/RightsManagement_eid=136833.pdf

PATENTES

- Alvarez, M., & Pinilla, J. (2009). *España Patente nº ES2345805A1*.
- Hirokazu, Y. (1990). *EE.UU - Japón Patente nº US5102647A*.
- Martinez, I., Pedrayes, C., Cuestallobet, N., Suarez, S. d., Garcia, A., Moliner, R., Suelves, L. (2013). *Francia Patente nº WO2015004295A1*.
- Suk-Won Jang, C.-H. J.-K.-S. (2007). *EE.UU Patente nº US8333928B2*.
- Wei, F., Liu, Y., Qian, W., & Luo, G. (2007). *EE.UU Patente nº US7993594B2*.
- Wei, F., Wang, Y., Luo, G., Li, H. Y., Qian, W., Wang, Z., & Jin, Y. (2001). *EE.UU Patente nº US7563427B2*.
- Xuzhen, T. (2016). *China Patent No. CN106395794A*.

ANEXOS

ANEXO 01: PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN AIBUS

ANEXO 02: AIDCS CONEXIONES PARA LA COMUNICACIÓN DE LOS
CONTROLADORES DE TEMPERATURA YUDIAN

ANEXO 03: CODIGO GENERADO PARA EL SUBVI DE CONTROLADORES
ALICAT

ANEXO 04: CODIGO GENERADO PARA EL SUBVI DE CONTROLADORES
YUDIAN

ANEXO 05: CODIGO COMPLETO DEL SISTEMA SCADA

ANEXO 06: MANUAL DEL USUARIO PARA EL USO DEL SISTEMA SCADA