



UNIDAD MAESTRA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PREFORMAS

(MASTER DATA COLLECTION UNIT FOR A PREFORM INJECTION SYSTEM)

Oscar Borjas

Zuliana de Pet C.A

oskrborjas69@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal proponer una unidad maestra de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas para una empresa de caso como es Zuliana del PET C.A. sustentada por los aportes teóricos de Márquez (2008), Salgado (2008), Creus (2000) y Smith y Corripio (1996), la misma es una investigación de tipo descriptiva y proyectiva bajo un diseño no experimental transeccional, para la obtención de los resultados se aplicó el método científico definiendo cinco fases ordenadas sistemáticamente, éstas se desarrollan desde la descripción del sistema de inyección de preformas, estableciendo parámetros de operación así como de diseño lógico de hardware y software, para finalmente obtener un prototipo funcional que permite monitorear variables de suma importancia en el sistema de inyección de preformas de la empresa Zuliana del PET C. A. este dispositivo terminal maestro está basado en una placa arduino node MCU aportando gran potencial en cuanto a conectividad pues el mismo tendrá comunicación modbus gracias a las librerías integradas en su firmware y utilizando un conversor ttl a RS485, además conexión usb y un cliente wifi. El mismo se desempeñó satisfactoriamente durante la instalación y validación

Palabras Claves: Modbus, RS485, Arduino, NodeMCU, redes, industriales, inyección, PET.

ABSTRACT

The main objective of this research was to propose a master data collection unit for the preform injection system for a case company such as Zuliana from PET C.A. supported by the theoretical contributions of Márquez (2008), Salgado (2008), Creus (2000) and Smith and Corripio (1996), it is a descriptive and projective research under a non-experimental transeccional design, to obtain the results the scientific method was applied defining five systematically ordered phases, these are developed from the description of the system of injection of preforms, establishing operation parameters as well as logical design of hardware and software, to finally obtain a functional prototype that allows to monitor variables of very important in the system of injection of preforms of the company Zuliana del PET CA this master



terminal device is based on an arduino plate node MCU providing great potential in terms of connectivity because it will have modbus communication thanks to the libraries integrated in its firmware and using a ttl to RS485 converter, plus usb connection and a wifi client . It performed satisfactorily during the installation and validation

Key words: Modbus, RS485, Arduino, NodeMCU, networks, industrial, injection, PET.

INTRODUCCION

A nivel mundial las redes de comunicación, forman parte fundamental de la vida cotidiana, debido a que un alto porcentaje de la población por no decir casi en su totalidad, interactúa con alguna de estas. Las redes de comunicación están definidas como un grupo de medios de transmisión y conmutación para el envío de datos entre receptores ubicados en lugares diferentes, los cuales por medio de dos o más dispositivos proporcionan la recepción o envío de datos a través de un medio guiado o no guiado.

Para que exista comunicación entre dos o más equipos de una red, tanto el emisor como el receptor deben tener un mismo protocolo de comunicación, es decir, a medida que se desarrollan estas tecnologías a lo largo del tiempo, se crearon estándares o protocolos de comunicación, definidos como el conjunto de reglas o convenciones que permiten la comunicación de bloques de datos entre las capas de un modelo de comunicación.

Es importante resaltar que los protocolos a utilizar dependen de la aplicación o servicio para el que se desea emplear el sistema de comunicación. Entre los más conocidos encontramos protocolo de control de transporte y protocolo de internet conocido por sus siglas en ingles TCP/IP, protocolo de transferencia de archivos FTP, protocolo de transferencia de hipertexto HTTP, entre otros.

Igualmente en el ámbito industrial necesario incentivar y desarrollar el uso de las redes de comunicación, para hacer seguimiento y controlar en tiempo real lo que ocurre en el proceso productivo, teniendo como objetivo principal optimizar la productividad sin tener la presencia de un personal en sitio. Estas redes deben poseer características especiales para cumplir con las necesidades de comunicación, además deben ser capaces de hacer cara a ambientes extremos donde existen gran cantidad de interferencias que dificultaran el intercambio de información, debido a esta peculiaridad ha sido necesario desarrollar medios de comunicación y protocolos especiales que sean capaces de funcionar en dichos ambientes. Márquez (2008)

En un sistema industrial de comunicación planificado para automatizar, monitorear, y controlar procesos industriales se pueden conseguir dispositivos como la unidades o terminales maestras MTU Master Terminal Unit, una o más unidades de control que recolectan información en el campo RTU Remote Terminal Unit, además de software estandarizado para monitorear y controlar remotamente



los dispositivos en el campo, todos interconectados a través de buses especiales o redes de área local. Smith y Corripio (1996).

En Venezuela las redes de comunicación han sido de vital importancia para la industria, el ejemplo más evidente está en la industria petrolera, donde la automatización de procesos y monitoreo se debe realizar 24 horas, teniendo que cubrir grandes distancias, llegar a lugares donde no hay ningún tipo de medio de comunicación, maquinaria pesada, alta tensión, entre otros factores como se mencionó anteriormente dificultan la comunicación en ambientes industriales, que al no contar con un sistema de comunicación adecuado imposibilitan conocer de manera remota, el acontecer en una planta, estación, pozo entre otros, impidiendo la posibilidad de controlar equipos sin tener que estar presentes en el área donde se encuentran.

Así mismo de la explotación petrolífera, se obtienen grandes cantidades de derivados que surgen tanto del proceso de extracción como del tratamiento del producto extraído, donde aparecen polímeros como el tereftalato de polietileno conocido por sus siglas en inglés como PET, este posee propiedades que al tratarlo a través de diversos procesos químicos y mecánicos lo hacen ideal para envasar alimentos, bebidas carbonatadas, medicamentos, productos agroquímicos, e inclusive es utilizado en la industria textil, mejor conocido como Poliester.

La empresa Zuliana del PET C.A, compañía de marca Venezolana ubicada en la población de Cabimas, estado Zulia dedicada a la manufactura de envases plásticos de PET, mediante el proceso de soplado de preformas, con una antigüedad en el mercado de cinco años, donde la misma ha tenido una gran crecimiento a pesar de tan corta trayectoria, debido a que siguen en constante búsqueda de perfeccionar los procesos actuales y por realizar inversiones en nuevas líneas de producción además de desarrollar nuevos procesos productivos.

De esta manera, Zuliana del PET C.A cuenta con un sistema de inyección de preformas PET, este sistema consta de una serie de sub sistemas o equipos auxiliares como cargador de resina, deshumidificador, sistema de enfriamiento por agua helada, sistema de enfriamiento por agua a temperatura ambiente, bombas, entre otros, los cuales no están siendo monitoreados constantemente lo que impide garantizar el tratamiento de la materia prima y las condiciones termicas de la máquina.

Todo lo anteriormente planteado recae en el personal encargado de esta tarea el cual sería el técnico de inyección, quien debe garantizar el funcionamiento de los equipos que integran el sistema de inyección de preformas, se encuentren en los parámetros adecuados. Ésta tarea se dificulta, pues los equipos a pesar de ser del mismo sistema son de distintos fabricantes, se encuentran en distintas áreas de la empresa o en zonas de difícil acceso donde se pone en riesgo la seguridad del personal y de difícil comunicación, lo que obliga al operador a dirigirse hasta cada sitio y verificar personalmente los mismos descuidando otras actividades vitales del proceso.

Es importante mencionar que si el sistema de inyección y sus equipos auxiliares, no se encuentran en los parámetros requeridos producirá preformas



defectuosas , es decir, mal formadas o no conformes a las especificaciones necesarias, generando pérdidas económicas a la empresa, pues inmediatamente son consideradas material de desecho y deberán ser excluidas del lote de producción, además una preforma en mal estado no debe pasar al proceso de soplado ya que el producto obtenido resultara igualmente defectuoso, deforme, con fugas de líquidos, y ocasionando explosiones en el molde de soplado produciendo daños en el mismo o en la maquina sopladora. Salgado (2008).

OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

Proponer una unidad maestra de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas en la empresa Zuliana del PET C.A

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Según Hurtado (2013), La investigación proyectiva consiste en la realización de una propuesta o de un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea para beneficio de la sociedad o de una institución, en un área particular del conocimiento, a partir de la definición precisa de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras, en este sentido Dubs (2002) coincide en que este tipo de investigaciones está dirigida al diseño de una propuesta con la finalidad de resolver un problema puntual.

Por lo anteriormente expuesto la presente investigación es de tipo proyectiva ya que sugiere el desarrollo de una propuesta de un módulo maestro de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas PET de la empresa Zuliana del PET, C.A. que cumpla con los parámetros o características requeridos, para solucionar la problemática existente, permitiendo monitorear este sistema de práctica al operador de la planta.

Siguiendo con Hernández et al (2010) un diseño no experimental es sistemático y empírico, en la que las variables independientes no se modifican pues ya los fenómenos han ocurrido. Las conclusiones sobre las relaciones entre las variables se realizan sin la manipulación del investigador, observándolas tal como se ha dado en su contexto, también este autor plantea, que los diseños no experimentales se clasifican en transeccionales y longitudinales, siendo el primero aquellas investigaciones en donde los datos son recogidos en una sola oportunidad a diferencia de las longitudinales en la que los datos se recogen a lo largo de un tiempo determinado. En consideración de lo expuesto anteriormente, esta investigación presenta un diseño-no experimental transeccional, ya que la variable se estudiará sin que el investigador ejerza algún tipo de influencia sobre la misma y en un único periodo de tiempo por lo que no se manipula ninguna variable en el sistema de inyección de pre forma y su sistema de envío y recepción de datos se realizara en tiempo real.

RESULTADOS

Funcionamiento del sistema de inyección de preformas

El sistema de inyección de preformas de está constituido por una serie de equipos o maquinaria cuyo propósito es manipular la resina de PET moldeándola en forma de preformas, éstas posteriormente mediante el proceso de moldeado al caliente realizado en un sistema diferente, se convertirán en algún tipo de envase o botella, generalmente destinados a la industria de alimentos y bebidas. En la figura 1 se muestran los equipos que intervienen en el sistema de inyección de preformas de la empresa Zuliana del PET, C.A., estos se encargan de brindar la sustentabilidad del proceso, manteniendo las condiciones necesarias que permitan obtener preformas con la calidad esperada, evitando la pérdida de materia prima al minimizar el nivel de desperdicio.

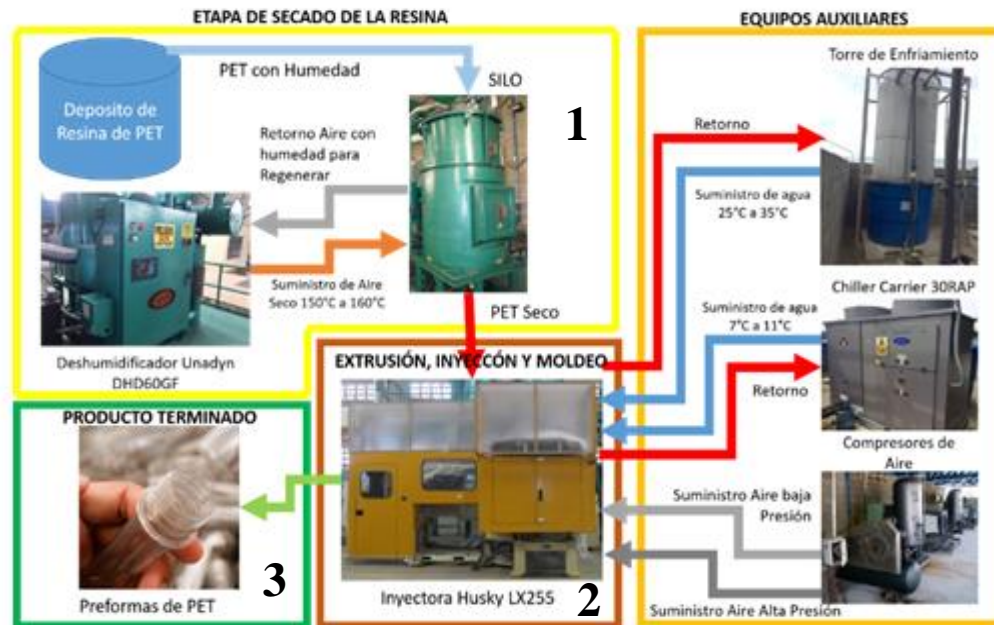


Figura 1. Equipos que intervienen en el sistema de inyección de preformas
Fuente: Elaboración propia (2017)

a) Etapa de Secado de la resina

Esta etapa considerada la más importante de proceso de inyección, debido a que el PET es un material que tiene características higroscópicas, es decir, tiende a absorber humedad del ambiente, hasta aproximadamente un 50% de su peso. El agua es un subproducto natural en la elaboración del PET por lo que si el agua está presente cuando se funde en la máquina de inyección, la reacción de elaboración se revierte degradando el material haciendo disminuir su viscosidad intrínseca IV; cuanto más baja es la IV del material más deficiente es el desempeño

de la botella.

En primer lugar la resina es depositada en un silo o tolva de secado con una capacidad de 2500 litros; la misma no es más que un contenedor con una serie de elementos internos y una base c nica los cuales facilitan el flujo de aire seco a través del PET. Este aire debe fluir desde la base del silo hasta la parte superior extrayendo la humedad presente en la resina, donde es extraído por el deshumidificador para ser regenerado. En la figura 1 se muestran las partes de los equipos involucrados en el sistema de secado, lo que permite tener una mejor compresión de esta etapa.

El aire que circula a través de la tolva de secado no debe poseer ningún grado de humedad, para tal fin Zuliana del PET, C.A emplea un equipo deshumidificador UNADYN DHD 60GF con este dispositivo se completa un sistema que hace fluir una masa de aire de aproximadamente de 1800 pies cúbicos por minuto, extrayendo aire húmedo de la tolva de secado haciéndolo pasar por una serie de filtros, luego atraviesa un contendor donde se encuentra un material desecante o criba molecular, capaz de absorber la humedad presente en el aire, posteriormente este pasa a un calentador de proceso donde se calienta a cierta temperatura para proporcionar el calor necesario para vaporizar la humedad en las pastillas de PET.

Para finalizar el aire seco y caliente es introducido a la tolva de secado desde la base del cono, fluyendo a través de la resina haciendo salir la humedad de la misma y volviendo entrar al ciclo de secado. Este deshumidificador además posee contenedor adicional con material desecante donde mientras uno está en uso, se le aplica aire caliente a otro para regenerar el desecante ya utilizado.

En la figura 1 se muestra el gabinete de control del deshumidificador UNADYN DHD 60GF, en él se encuentran todos los controles físicos y lógicos necesarios para el funcionamiento del sistema, tales como, el control del flujo de aire, control de ignición del sistema de calentamiento a gas, temporizadores, control de los sopladores, entre otros dispositivos.

b) Etapa de Inyección.

En la etapa de inyección es donde luego de preparada la resina, se comienza la transformación de la misma, Zuliana del PET, C.A. cuenta con una máquina de origen canadiense de la marca HUSKY modelo LX225 capaz de procesar alrededor de 8 toneladas de resina por día, produciendo alrededor de cinco millones de preformas por mes dependiendo de la capacidad del molde instalado en la máquina.

En la figura 1 se muestran los elementos visibles exteriormente en la máquina de inyección. El proceso de inyección comienza con la recepción de la resina seca en la máquina de inyección, en este punto comienza un procedimiento conocido como extrusión de la resina, es aquí donde la resina pasa de estado sólido a líquido. En el proceso de extrusión la resina se desplaza a través de una conducto o ca n por medio de la acción de un husillo o tornillo de extrusión y en el trayecto la misma es calentada por la combinación de tres factores conocidos como: Calor

radiante, calor cizalla y calor por compresión.

El calor radiante es generado por las bandas de calentamiento ubicadas a lo largo del cañón por donde fluye la resina, canales de alimentación calientes y boquillas, así como también el calor por cizalla o fricción que se genera con la rotación del tornillo y flujo a través de las rutas de fusión. Típicamente, 85% del calor total se produce por cizalla, y finalmente el calor por compresión generado por el calor de compresión en los procesos de extrusión e inyección.

Luego de la fusión de la resina, es trasladada a un crisol donde se prepara para ser inyectada, esta es una cavidad con un funcionamiento muy similar al de una jeringa con un émbolo en su interior que una vez se llena está listo para inyectar la resina en el molde para el moldeo de la preforma. La cantidad de resina inyectada se programa dependiendo de las características y capacidad del molde.

Posteriormente entra en acción la unidad de cierre ésta no es más que una prensa hidráulica o mecánica encargada de mantener el molde unido, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en él. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de 1200 psi. Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas.

Después de inyectado el material comienza una etapa de mantenimiento, donde se ejerce una presión un poco más baja alrededor de unos 900 psi, ejerciendo presión sobre el plástico en el molde de la preforma para maximizar el intercambio de calor con el agua fría que fluye a través del molde y para compensar el encogimiento de la preforma mientras se está enfriando. Aunque un tiempo largo y la presión alta de mantenimiento aseguran un buen enfriamiento de la preforma, minimizan la probabilidad de cristalización en el cuerpo, y proveen una preforma bien formada. El tiempo de mantenimiento se debe calcular cuidadosamente ya que someter la preforma a esto un tiempo prolongado también puede ser perjudicial para el producto final.

Luego de enfriar lo suficiente la resina el molde se abre, las preformas permanecen en las varilla del núcleo, donde continúa el proceso de enfriamiento. La unidad robot las retira, colocándolas en una cinta transportadora, hasta ser depositadas en cestas metálicas o cajas. Se debe asegurar el enfriamiento del material pues esto prevé las deformaciones en las preformas, le da rigidez para soportar el proceso de expulsión, ayuda a la eliminación de la cristalización, entre otros defectos que podrían aparecer.

Parámetros y requerimientos para la unidad maestra de recolección de datos para sistema de inyección de preformas

Luego de describir el funcionamiento del sistema de inyección de preformas y los equipos auxiliares que intervienen en el mismo, Se pudo precisar que la máquina de inyección Husky LX225 es un equipo que requiere muy poca atención por parte del personal técnico debido a que su funcionamiento es automatizado

casi en su totalidad, además posee una interfaz hombre – máquina HMI bastante amigable, que permite observar lo que sucede en la inyectora mientras se trabaja. A continuación se presentan los parámetros y requerimientos para el establecimiento de esta unidad maestra de recolección de datos.

a) Parámetros para la unidad maestra de recolección de datos

En el sistema de inyección de preformas los equipos auxiliares funcionan independientemente de la máquina de inyección, estos no poseen ningún tipo de comunicación con la misma, y en la mayoría de los casos son de distintos fabricantes, además se encuentran en diferentes locaciones de la planta, por lo que se hace indispensable determinar una parametría de funcionamiento, estableciendo valores máximos, mínimos y óptimos que al momento de monitorear estos valores permitan al usuario determinar si el equipo está brindando las bondades necesarias para apoyar el proceso de inyección.

- Temperatura de la resina en la garganta de extrusión.

Al depositar la resina en la tolva de secado, se hace circular aire caliente seco en el sistema deshumidificador, de tal manera que al comenzar este ciclo la temperatura de las pastillas de PET aumenta gradualmente para evaporar la humedad presente en la misma. Por esta razón el operario del sistema debe velar porque al momento de pasar la resina a la garganta de extrusión en la máquina de inyección ésta se encuentre en los rangos de temperatura adecuado.

Llevar las pastillas de PET a temperaturas entre los 150 °C y 160 °C garantiza que la resina está completamente en ausencia de humedad lo que la hace apta para entrar a la máquina de inyección, llevar la resina a temperaturas superiores comienza un proceso conocido como degradación Oxida-viscosidad A, donde el oxígeno en el aire de secado ataca químicamente la estructura de molecular del polímero.

Tabla 1
Parámetros de temperatura del PET seco

| Material | Mínima | Máxima | Optima |
|----------|--------|--------|--------|
| PET | 150 °C | 160 °C | 155 °C |

Fuente: Elaboración propia (2017)

- Temperatura de operación del chiller.

Esta pieza fundamental del sistema de inyección, es la que debe operar en rangos inferiores a todos los demás equipos, brindando al sistema los niveles de

enfriamiento en ciertas zonas de la inyectora donde se requiere enfriamiento inmediato. El chiller Carrier 30 RAP está programado mantener la circulación de agua a través del sistema con temperaturas de hasta 7 °C como mínimo y un máximo de 11°C.

Tabla 2
Parámetros de temperatura de operación en chiller carrier 30 rap

| Fluido | Mínima | Máxima | Optima |
|--------|--------|--------|--------|
| Agua | 7 °C | 11 °C | 9 °C |

Fuente: Elaboración propia (2017)

- Temperatura de operación de torre enfriamiento.

Como se mencionó en la fase anterior, este sistema proporciona refrigeración en zonas de la máquina de inyección donde no se requiere bajos niveles de temperatura haciendo circular agua a temperatura ambiente. Este sistema debe mantener el agua en un rango entre 25 °C y 35 °C, trabajar a temperaturas menores podría generar humedad dañando componentes funcionales de la inyectora, y temperaturas superiores generarían alarmas por recalentamiento.

Tabla 3
Parámetros de temperatura de operación torre de enfriamiento

| Fluido | Mínima | Máxima | Optima |
|--------|--------|--------|--------|
| Agua | 25 °C | 35 °C | 30 °C |

Fuente: Elaboración propia (2017)

Mantener en constante observación los parámetros mencionados anteriormente y sumado a una buena práctica en la instrumentación del procesos, garantizarán al sistema de inyección dar un tratamiento adecuado a la materia prima antes de ser procesada, moldear las preformas de manera apropiada y mantener en óptimo funcionamiento los componentes de la maquina tendientes a calentarse, obteniendo productos que satisfagan los niveles de calidad esperados.

b) Requerimientos

Los requerimientos son todas aquellas condiciones que deben existir para la correcta instalación una unidad maestra de recolección de datos, la misma se realiza según las necesidades y adaptándose a la estructura donde se encuentre el sistema a monitorear. En este sentido antes de la instalación se debe definir como estarán distribuidas las canalizaciones, materiales utilizados así como también el cableado y la fuente de alimentación eléctrica.

- **Canalizaciones**

La instalación de una unidad maestra de recolección de datos requiere principalmente de 2 sistemas de canalizaciones o tuberías. Una de ellas destinada a proporcionar la alimentación eléctrica de corriente alterna o continua según sean las especificaciones de los dispositivos que conformarán el sistema de recolección de datos, adicionalmente es necesario tener una canalización paralela en la cual se coloca un medio guiado por donde se transmitirá la información de los terminales remoto a la unidad maestra. En la figura 11 se muestran como están distribuidas las canalizaciones de alimentación eléctrica y bus de campo tanto para la MTU como para las RTU.

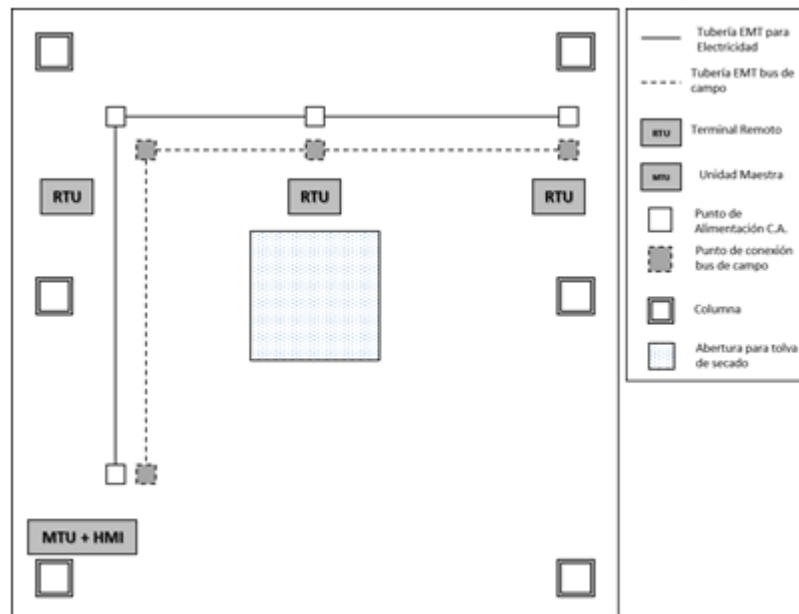


Figura 2. Diagrama de canalización de tuberías
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla 4 se muestran los materiales necesarios para las canalizaciones del tendido para la red de comunicación y la alimentación eléctrica apegados al código eléctrico nacional de la República bolivariana de Venezuela y tomando en consideración una inspección preliminar sobre las disponibilidades en el mercado regional de estos materiales eléctricos para las acometidas de la unidad maestra.

Tabla 4
Materiales para canalizaciones

| Cajeras de Empalme 6x6 EMT | Cajeras de Empalme 4x4 EMT | Conectores EMT 1/2 | Tubería EMT 1/2 | Cable # 18 AWG | Cable #12 AWG |
|----------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 4 | 4 | 14 | 20 mts | 40 mts | 40 mts |

Fuente: Elaboración propia (2017)

Se utilizara tubería metálica de tipo EMT con diámetro de 1/2 pulgada, para el tendido eléctrico debido a que los equipos no requieren un alto consumo energético se colocará 40 metros de cable #12 AWG y para las comunicaciones cable de control #18 AWG. Estos requerimientos se consideran mínimos para el funcionamiento de la unidad maestra y remota del sistema de inyección de pre formas de la empresa Zuliana del PET, C.A en el Estado Zulia, Venezuela.

- Alimentación eléctrica

Para el funcionamiento de la unidad maestra, es necesario realizar conversiones de voltaje en corriente alterna a directa en función de la alimentación eléctrica en los equipos de monitoreo que pertenecen a la red de recolección de datos. A continuación se presenta una tabla con los requerimientos de alimentación eléctrica divididos en las unidades Maestras y las Remotas respectivamente.

Tabla 5
Requerimientos de Alimentación eléctrica

| Unidad Maestras | | Unidades Remotas | | Fuente Disponible |
|-----------------|-----------|------------------|-----------|-------------------|
| Voltaje | Corriente | Voltaje | Corriente | |
| 24 VDC | 2.5 A | 24 VDC | 1 A | 110 VAC |

Fuente: Elaboración propia (2017)

Diseño de la unidad maestra de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas en la empresa Zuliana del PET C.A

Al diseñar una unidad maestra de recolección de datos, es necesario previamente conocer los parámetros bajos los que el sistema deberá trabajar además de los requerimientos que un sistema de este tipo debería poseer, luego se debe establecer el diseño del hardware que cumpla con las características acordes a los requerimientos previamente establecidos en fases anteriores.



Figura 3. Diagrama de entradas y salidas

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura anterior se presenta un diagrama donde se ilustran las señales de entrada y salida que debe poseer el módulo de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas, donde se puede observar que la unidad maestra recibe información proveniente de los sensores ubicados puntos estratégicos en el sistema de inyección y esta tendrá la capacidad de mostrar la información recibida en diferente presentaciones, además enviará señales a los instrumentos de control, permitiendo emitir alertas a los operadores en turno.

a) Red de comunicación

Al momento de planificar una red de comunicación a nivel industrial, es preciso tomar en cuenta el estándar o protocolo de comunicación sabiendo que un protocolo no es más que un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos dentro de la red, es decir, se debe establecer sobre que lenguaje o modalidad se comunicarán los dispositivos en la red. En este sentido se presenta una tabla donde se compara los protocolos de comunicación industrial comúnmente utilizados en la industria.

Tabla 6
Características de los protocolos de comunicación industrial

| Nombre | Topología | Medio | Max. Disp | Distancia Km | Tipo Comunicación |
|---------------------|---|---|--------------|------------------------------|----------------------------------|
| Profibus DP | Línea, Estrella, Anillo | Par trenzado fibra óptica | 127 / Segm | 0,1 Segm 24 Fibra | Maestro/Esclavo Punto a Punto |
| Profibus PA | Línea, Estrella, Anillo | Par trenzado, fibra óptica | 14400 / segm | 0,2 Segm 24 Fibra | Maestro/Esclavo Punto a Punto |
| Ethernet Industrial | Bus, estrella, malla-cadena | Coaxial Par trenzado Fibra Optica | 400 p/segm | 0.1 100 mono c/sw itch | Maestro/Esclavo Punto a Punto |
| Modbus | Línea, Estrella Arbol, Red con segmntos | Par trenzado Coaxial | 250 p/segm | 0.35 | Maestro/Esclavo |
| Interbus | Segmentado | Par trenzado Fibra óptica | 256 nodos | 400/segm 12.8 total | Maestro/Esclavo |

Fuente: Creus (2000)

Cada protocolo tiene sus características que lo hacen elegible para su aplicación en el campo, según las características y las dimensiones del sistema de comunicación. En este sentido el protocolo utilizado para la comunicación del módulo maestro de recolección de datos, será el protocolo modbus, debido a que el mismo puede ser configurado con diferentes topologías, cumple con los requerimientos en cuanto a distancia y además brinda la posibilidad de escalarlo a

medida que se integren más dispositivos al sistema.

Cabe destacar, que la red será configurada en base al standard RS485, sobre una red de tipo BUS. El mismo se ubica en la capa 7 del modelo OSI, y permite la comunicación entre equipos en distancias hasta 1200 metros. Adicionalmente al implementar una unidad maestra de recolección de datos basada en la tarjeta arduino node mcu se obtiene un equipo con un amplio potencial en cuanto a conectividad, pues en un solo dispositivo se encuentra conexión directa usb para configuración o actualización de firmware, conexión I2C para la pantalla lcd del HMI, y un cliente de red wifi que permite ver a través de un explorador web. Características que se ilustran en la figura 18 a continuación.

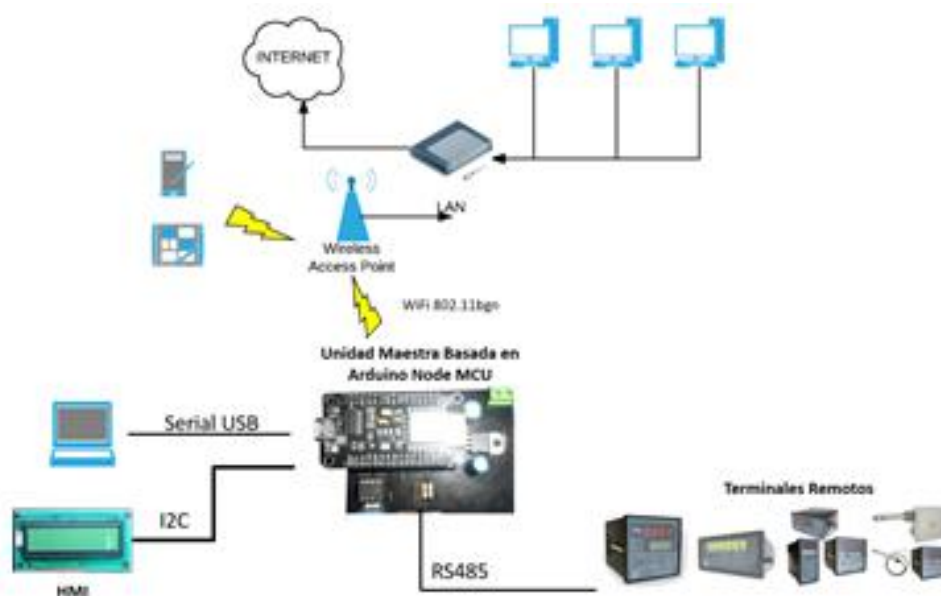


Figura 4. Conectividad de unidad maestra de recolección de datos
Fuente: Elaboración propia (2017)

b) Software del módulo maestro de recolección de datos

Antes de comenzar a diseñar el software se debe, conocer el proceso que se desea realizar, por lo que generalmente estos se representan gráficamente mediante una serie de símbolos y flechas ordenados jerárquicamente conocido como diagrama de flujo, permitiendo tener una visión general del trabajo por lo que a continuación se presenta la lógica del mismo:

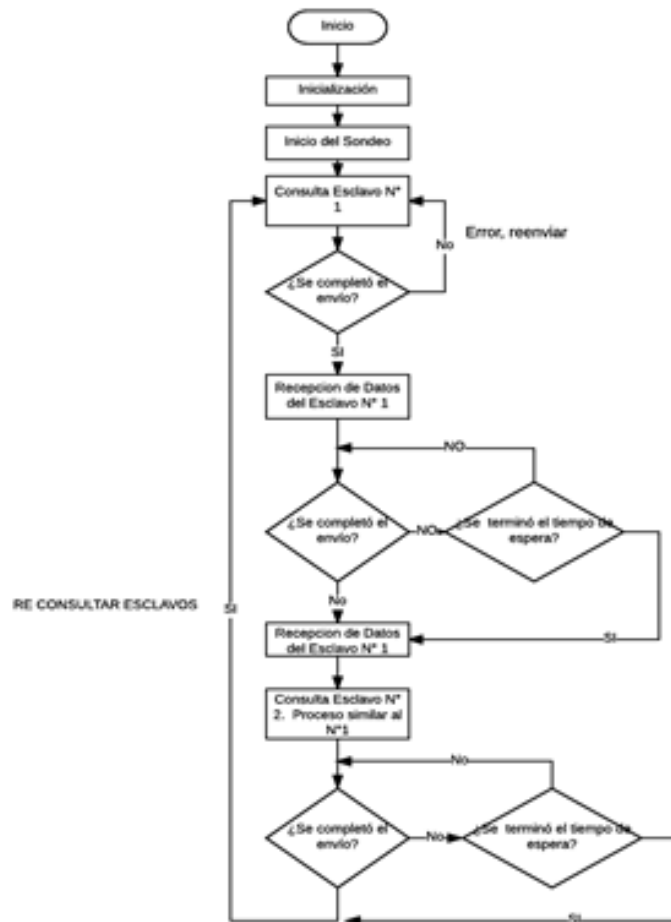


Figura 5. Diagrama de flujo de comunicación de unidad maestra modbus
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura anterior se puede observar como la unidad maestra obtiene la información haciendo consultas secuencialmente a cada uno de los dispositivos esclavos. La MTU hace una solicitud en el bus de comunicación, luego de enviada la solicitud el dispositivo maestro espera un tiempo prudencial por la respuesta, esta señal es recibida por todos los dispositivos pero solo es respondida por el que se ha solicitado, si el mismo no responde continúa con el siguiente y al termino del ciclo comienza de nuevo, además cabe destacar que se realizan tantas solicitudes como dispositivos configurados en la unidad.

c) Lenguaje de Programación

En la mayoría de los casos el escoger un lenguaje de programación apropiado, es cuestión más que de las necesidades del proyecto depende del gusto del programador y de la agilidad que este posea en la herramienta que desea utilizar. Lo mismo sucede cuando se pretende desarrollar un dispositivo electrónico físico o

hardware, debido a que no solamente es necesario escoger los componentes adecuados para que funcione correctamente, sino que también se le debe cargar una serie de instrucciones lógicas o firmware para que pueda operar.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará un dispositivo arduino, los cuales normalmente vienen equipados con un microcontrolador Atmega. Su entorno de programación es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados, El software Arduino es de distribución de licencia libre y listo para ser adaptado por programadores experimentados. Este lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y en caso de querer profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado.

Tabla 7
Comparación de los lenguajes de programación para placas arduino

| Lenguaje | Entorno de Desarrollo | Requiere Librerías | Dificultad | Soporte Comunidad |
|------------------|--------------------------|--------------------|--------------|-------------------|
| C | Arduino IDE | No | Normal | Amplio |
| Python | Eclipse, Netbeans, otros | Si | Avanzado | Amplio |
| C# | Visual Studio | Si | Normal | Básico |
| Java | Eclipse, Netbeans, otros | Si | Avanzado | Moderado |
| Java Script | Node.JS | Si | Avanzado | Básico |
| MIT app inventor | Explorador Web | No | Principiante | Amplio |

Fuente: Creus (2000)

La tabla anterior contempla solo algunos de los múltiples lenguajes de programación con los que se pueden realizar aplicaciones con dispositivos arduino, para adaptarlos a las necesidades del usuario. La selección del uno, como se mencionó anteriormente depende del criterio del programador, en este caso se utilizara C debido a que es el lenguaje nativo del dispositivo, posee gran cantidad de soporte y ejemplos de la comunidad, adicionalmente el desarrollo se llevará a cabo mediante el entorno de desarrollo integrado arduino en su versión 1.8.3 por ser la más actual, amigable y mantiene conexión directa con la tarjeta.

d) Diagrama esquemático de la unidad maestra

Mediante el software de diseño asistido por computador Eagle se realizó el diagrama de bloque que funciona como referencia para conocer la forma en que estarán conectados los componentes electrónicos de la unidad maestra, para posteriormente proceder a realizar el diseño del circuito impreso donde se montarán dichos componentes. Este software es una herramienta de última

generación, muy intuitiva, con amplio soporte en cuanto a librerías y componentes, simulaciones entre otras funciones que facilitan el trabajo y garantizan la calidad del producto final. A continuación se muestra el diagrama lógico esquemático de la unidad maestra de recolección de datos.

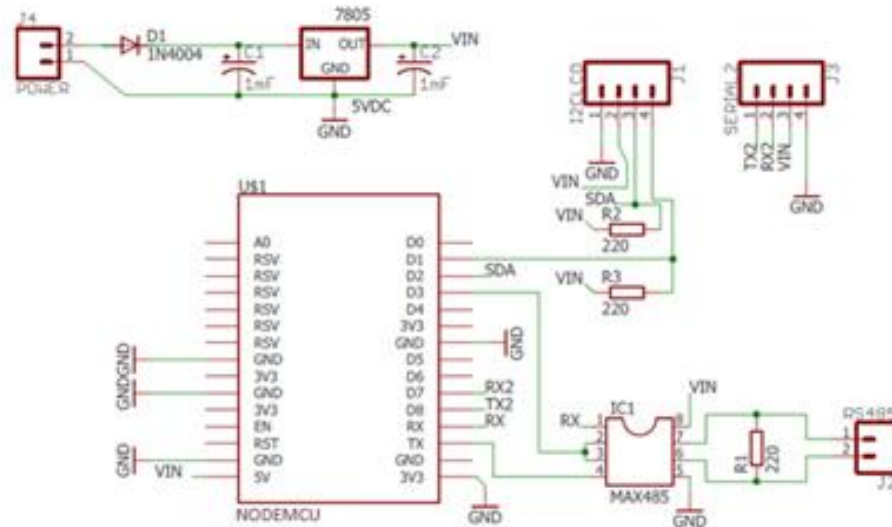


Figura 6. Diagrama esquemático de la unidad maestra
Fuente: Elaboración propia (2017)

Como se menciona anteriormente en la figura 6 ilustra como es el esquema de conexión en la placa de circuito impreso con todos sus componentes, en otras palabras representa gráficamente los enlaces físicos entre un componente y otro, entre los que se encuentran resistencias, entradas de alimentación eléctrica, regulador de voltaje, convertidor ttl5 a rs485, convertidor serial I²C, entre otros componentes de la unidad maestra. En la siguiente ilustración se muestran los componentes que cumple con la función de aportar la energía eléctrica de operación del circuito de la unidad maestra.

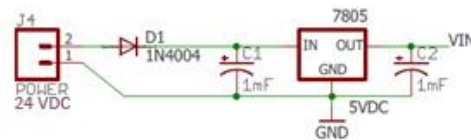


Figura 7. Diagrama de alimentación eléctrica.
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura 7 se puede observar que el circuito cuenta con una bornera para una entrada de alimentación de 24 voltios DC, seguidamente se encuentra un diodo 1N4004 que servirá como protección contra corrientes inversas por mala conexión de la fuente, además de 2 capacitores de 1 uf para evitar cambios bruscos

de voltaje y finalmente un regulador 7805 para disminuir la tensión a 5vdc la cual es el voltaje de operación de la tarjeta nodeMCU

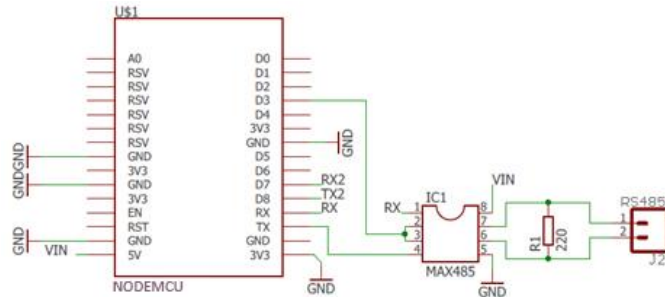


Figura 8. Diagrama de conexión nodeMCU con convertidor max485.
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la parte central de la figura anterior se muestra el integrado max485 quien es el encargado de servir de puente entre el nodeMCU y el bus de comunicación de campo, este dispositivo recibe las solicitudes a través del estándar ttl5, las interpreta y envía hacia los dispositivos remotos mediante RS485, en cuanto recibe respuesta el proceso se invierte y hace llegar las respuestas al nodeMCU y este le proporciona el tratamiento adecuado a la información recibida según la programación del dispositivo.

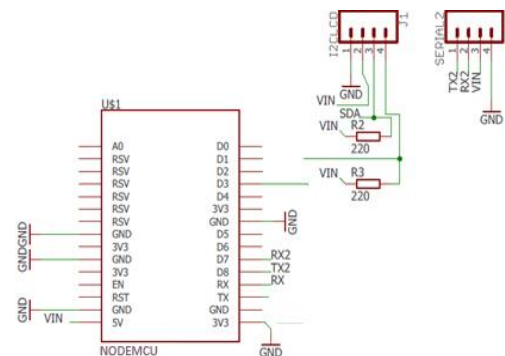


Figura 9. Pines de conexión I²C y Serial TTL.
Fuente: Elaboración propia (2017)

La figura 9 representa en primer lugar los pines de conexión para comunicación con circuitos interintegrados o I²C, principalmente para esta destinado para establecer comunicación con la pantalla LCD de 16x4 del HMI del dispositivo, y por otra parte se encuentra una conexión serial alternativa para comunicación con el nodeMCU que permitirá actualizaciones de firmware y monitoreo a través de un software monitor serial.

Validación del funcionamiento del sistema

Para iniciar con la validación del funcionamiento de la unidad maestra de recolección para el sistema de inyección de preformas de la empresa Zuliana del PET, C. A. se procedió con la instalación de tres dispositivos esclavos, cumpliendo con los parámetros y requerimientos establecidos anteriormente, cada uno de ellos contará con 2 instrumentos de medición de temperatura y estarán interconectados mediante un bus de comunicación dispuesto en las canalizaciones que recorren el sistema.

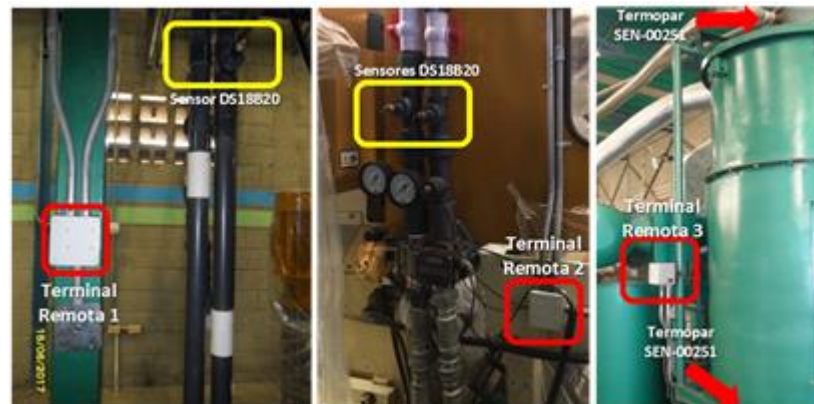


Figura 10. Ubicación de las terminales remotas con sus instrumentos
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura 10 se muestra como están ubicadas las unidades remotas en el sistema, en la que se puede observar que la terminal remota 1 está ubicada cerca de las tuberías de agua de la torre de enfriamiento artesanal, y dispone de un sensor para medir la temperatura del agua que entra a la máquina de inyección y otro para medir la temperatura de salida del agua, el diferencial de temperatura permite al operador conocer cuánto calor se está disipando del sistema, permitiendo conocer el rendimiento de este sistema de enfriamiento.

Por otra parte la terminal remota 2, está destinada a censar las temperaturas de entrada y salida del agua del chiller que circula por la máquina de inyección, es de vital importancia monitorear estas temperaturas ya que si estas no se encuentran entre 7 °C y 11 °C, los moldes no tendrán la temperatura requerida para solidificar la resina inyectada, lo que causaría desperdicio de materia prima ya que el producto estaría defectuoso.

Seguidamente la terminal remota 3 a diferencia de las dos primeras esta cuenta con 2 termopares SEN-00251 ubicados en la parte superior e inferior de la tolva de secado de resina lo que permite conocer a que temperatura se encuentra la resina del pet antes de entrar a la garganta de extrusión, sabiendo que la misma deberá estar entre 150 °C y 160 °C, lo que garantiza que la materia prima este completamente libre de humedad. Cabe destacar que se usan termopares debido a que en la fase de secado se manejan altas temperaturas.

Finalizando con la unidad maestra de recolección de datos la cual está ubicada

al lado de la HMI de la máquina de inyección Husky LX255, a la vista de los técnicos de inyección donde mediante una pantalla LCD 20x4 muestra a estos en tiempo real las lecturas obtenidas de los terminales remotos. Cabe destacar que la unidad maestra de recolección de datos no ejerce ningún tipo de control sobre el proceso, esta tarea es labor de las unidades remotas.



Figura 11. Unidad maestra de Recolección de Datos con HMI
Fuente: Elaboración propia (2017)

En la figura 11 se muestra la unidad maestra de recolección de datos trabajando en caliente directamente sobre el proceso, en el HMI se puede observar los valores que viene obteniendo de las terminales remotas, se encuentra montada en una caja de empalme de 6x6x2 a la que llegan 2 tuberías flexibles donde se encuentra el cableado de comunicaciones y la alimentación eléctrica.



Figura 12. HMI unidad maestra de recolección de datos
Fuente: Elaboración propia (2017)

Como se puede observar en la figura anterior el HMI presenta al técnico de inyección un display LCD de 20x4 donde se muestran los resultados de las variables medidas en el proceso de inyección provenientes de las unidades remotas, lo que permitirá conocer al instante el rendimiento de equipos auxiliares como el deshumidificador, chiller y la torre de enfriamiento artesanal. Adicionalmente el nodeMCU integra una interface wifi que le permite conectarse a

puntos de acceso cercanos y en el caso de haber existe la posibilidad de convertirse en uno, lo que permite hacer solicitudes http a las que la unidad remota puede responder.

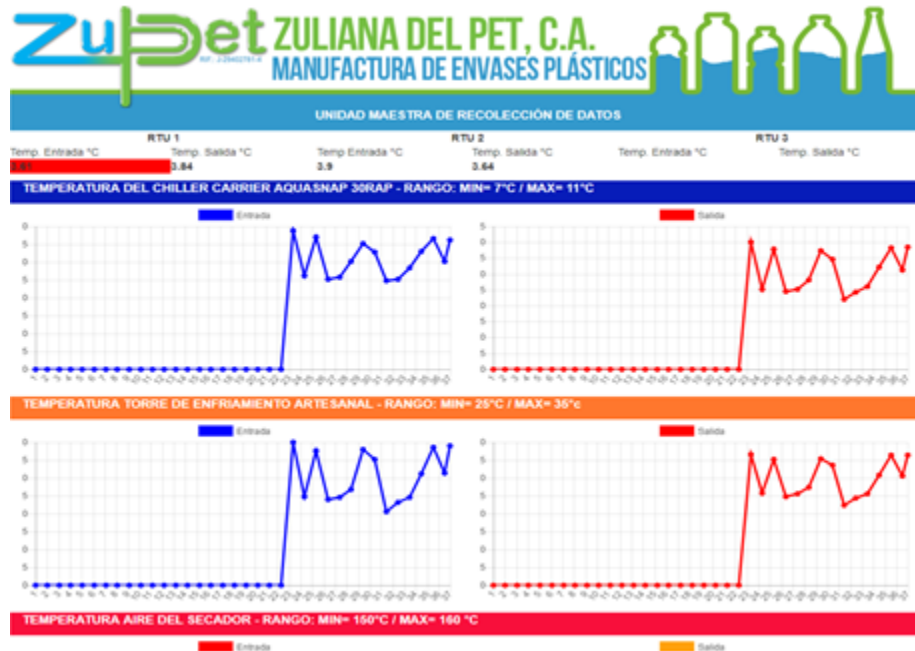


Figura 13. Interfaz web de unidad maestra de recolección de datos
Fuente: Elaboración propia (2017). Tomado de: <http://localhost/activitylogger/>

En miras de aprovechar la conectividad del dispositivo se desarrolló una aplicación web como se muestra en la imagen anterior, la misma a través de la combinación de lenguaje html y javascript, hace consultas a la unidad maestra de recolección de datos, esta última responde una trama de datos la cual es interpretada y clasificada por la aplicación presentándose al usuario de manera gráfica a través de un explorador web, esta aplicación puede estar alojada localmente en un servidor web y utilizada sin ningún problema desde cualquier dispositivo conectado a la red.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos del desarrollo de esta investigación se establecen las siguientes conclusiones en función de cada fase. Describir el funcionamiento del sistema de inyección de preformas de la empresa Zuliana del PET, C.A. permitió al investigador conocer el proceso de inyección y de todos los elementos que influyen en este. Determinando que existe una gran importancia en monitorear el funcionamiento de equipos como el deshumidificador y los equipos



auxiliares, pues, estos a pesar de ser externos a la máquina de inyección son los que garantizan tener las condiciones adecuadas para obtener un producto de calidad.

Luego de conocer en que consiste el proceso de inyección de preformas, se establecieron los parámetros de operación en los que deben trabajar el deshumidificado, chiller y torre de enfriamiento de agua, estableciendo valores máximos, mínimos y óptimos de operación, además se establecieron los requerimientos para la instalación de una red de comunicación y puesta en marcha de una unidad maestra de recolección de datos.

En cuanto al diseño del hardware y el software de la unidad maestra de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas de la empresa Zuliana del PET,C.A. en donde se estableció la fabricación de un dispositivo terminal maestro basado en una placa arduino nodeMCU lo que brinda gran potencial en cuanto a conectividad pues el mismo tendrá comunicación modbus gracias a las librerías integradas a través un conversor ttl a RS485, además conexión usb y un cliente wifi. Además se establecieron los lenguajes de programación y el diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo.

Finalmente se validó el funcionamiento de la unidad maestra, colocándola en operación directamente sobre el proceso, donde se pudo confirmar aspectos como la comunicación entre las terminales remotas y la unidad maestra, la captura de los datos, el funcionamiento de los instrumentos de medición, entre otros, resultando en su totalidad exitosas. En conclusión se construyó un dispositivo que cumple con las especificaciones necesarias para cumplir con los requerimientos de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Creus, A. (2000). Instrumentación Industrial. Alfaomega Grupo Editor, S. A. México.
- Dubs, R. (2002). El proyecto factible: una modalidad de investigación. Revista universitaria sapiens. Caracas, Venezuela
- Hernández R., Fernández, C. y Baptista M. (2010) Metodología de la Investigación. McGrawHill, Distrito federal, México
- Hurtado, J (2007). El Proyecto de Investigación holística, Colección Holo Magisterio. Bogotá.
- Marquez, R. (2008). Mejoramiento de la producción en una planta productora de preformas y envases de PET. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Salgado, G. (2008). Acciones estratégicas para mejorar la productividad de una microempresa de inyección de plásticos. Universidad nacional autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Smith, S y Corripio, J (1996). Control automático de procesos. Editorial Limusa. Distrito federal, México.