UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Desarrollo de un sistema alternativo de control para la
automatización de maquina arenadora de vidrio
industrial Glasstek X20**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

AUTORES:

Alberto Saúl Vargas Montero - (0000-0002-1497-2148)

Rene Jhonatan Canaza Tapia - (0000-0001-8606-2760)

ASESOR:

Márquez Marrou, Manuel Angel (0000-0003-4380-1054)

Lima, 01 de Marzo 2018

RESUMEN

En la actualidad, unos de los problemas que tienen las empresas arenadoras de vidrio, es la poca disponibilidad de repuestos, en el mercado local, en caso de avería del sistema de control de sus equipos. Este hecho impacta directamente en la producción y en la rentabilidad de la empresa.

Si bien existen varios modelos y tipos de máquinas de arenado que cumplen técnicamente con los requisitos necesarios para realizar el proceso de arenado de vidrio eficientemente. Es la parte económica y el tiempo de adquisición son las principales razones que dificultan la adquisición e importación de los mismos. En algunos casos podría tomar hasta 60 días que implicaría una pérdida del 30 % de la utilidad anual esperada. Considerando que sólo el sistema de control de fábrica falle una vez, pero si este problema es recurrente las consecuencias para el negocio pueden ser más graves.

Por ello, el presente proyecto, busca implementar un sistema de control alternativo que sea capaz de funcionar de similar o de mejor manera que el sistema de control de fábrica. El costo de producción del sistema alternativo es altamente competitivo a diferencia del costo de compra e importación de un nuevo sistema de control de fábrica, el cual puede significar hasta el 60% del costo de una máquina nueva.

El costo del sistema del control propuesto significa menos del 10% del costo de un sistema de control de un proveedor local incluyendo los gastos de importación.

Palabras Clave:

- ✓ **Arenado de Vidrio**
- ✓ **Monitoreo remoto**
- ✓ **Control de posicionamiento de motores**
- ✓ **Procesamiento de Señales Digitales**
- ✓ **Sensores**

ABSTRACT

Currently, one of the problems that have glassblower companies, is the limited availability of spare parts, in the local market, in case of failure of the control system of their equipment. This fact directly impacts the production and profitability of the company.

Although there are several models and types of sandblasting machines that technically comply with the necessary requirements to perform the process of glass sandblasting efficiently. It is the economic part that hinders the acquisition and importation of them. In some cases it could take up to 60 days which would imply a loss of 30% of the expected annual profit. Whereas only the factory control system fails once, but if this problem is recurrent the consequences for the business can be more serious.

Therefore, the present project seeks to implement an alternative control system that is capable of functioning similarly or better than the factory control system. The production cost of the alternative system is highly competitive, unlike the cost of purchase and import of a new factory control system, which can mean up to 60% of the cost of a new machine.

The cost of the proposed control system means less than 10% of the cost of a control system of a local supplier including import costs.

Keywords: Sandblasting, remote monitoring, control position controller, digital signal processing, sensors.

AGRADECIMIENTOS

Para nuestra familia y amigos por el apoyo incondicional durante el largo y grato camino universitario.

ÍNDICE

ÍNDICE	4
LISTA DE ILUSTRACIONES	8
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE ECUACIONES	12
LISTA DE SÍMBOLOS MATEMÁTICOS	13
Capítulo 1: Aspectos Introdutorios	16
Situación Problemática y Definición del Problema	16
Situación Problemática	16
Definición del Problema	18
Problema General	19
Problema Ingenieril	19
Estado del Arte	19
Productos y soluciones existentes.....	19
SV3000 con PLC - Maquina de Arenado de Vidrio Estacionaria	19
SV6	20
MISTRAL 120 V – 120	21
MÁQUINAS DE EXPLOSIÓN DBS-25 RC / DBS-50 RC, CONTROL REMOTO	22
AUTOMATIC PLC VERTICAL GLASS SANDBLASTING	23
Comparación de equipos de arenado: (Elaboración Propia).....	24
Publicaciones Científicas e Ingenieriles	25
Justificación	26
Justificación respecto a beneficios para el patrocinador del proyecto:.....	26
Justificación Ingenieril:	28
Justificación Económica:	28
Objetivos	32
Objetivo General:.....	32
Objetivos Específicos:	32
Árbol de Objetivos:.....	33
Descripción de la Solución Propuesta	34

Funcionamiento:	34
Funcionamiento interno del equipo	37
Máquina de Arenadora Glasstek SX20	37
Descripción de funcionamiento interno del sistema de control	38
Limitaciones de la solución:	41
Resumen de resultados esperados:.....	41
Aplicaciones y usuarios potenciales del producto	41
Viabilidad	42
Viabilidad técnica:	42
Viabilidad económica:	43
Viabilidad Social:	44
Viabilidad Operativa:.....	44
Alternativas	44
Comentarios Finales	44
Capítulo 2: Marco Teórico.....	46
Introducción.....	46
Conceptos Físicos	46
Proceso de Arenado	46
Tipos de Arenado.....	46
Elementos de control	47
Actuadores	47
Motor de Inducción:	47
Faja Transportadora de Vidrio:.....	49
Sensores	51
Etapas de Control	52
Dispositivos Electrónicos para Control	53
Procesamiento de Data: RaspBerry Pi 3	53
Lectura de Entradas y Salidas: Micro controlador Arduino	54
Visualización de Datos: Pantalla HDMI.....	56
Comentarios Finales	57
Capítulo 3: Descripción del Hardware Propuesto	58
Introducción.....	58
Etapas del Diagrama	60
Carga de parámetros de configuración	60

Problema	60
Planteamiento de la solución	60
Implementación de la solución	60
Etapa de Comunicación: Lectura y Procesamiento de Datos de Manera Remota ..	62
Problema	62
Planteamiento de la solución	63
Implementación de la solución de Monitoreo Remoto	63
Etapa de Control	64
Problema	64
Planteamiento de la solución	64
Implementación de la solución	64
Sistema de Control del equipo: Rasperry Pi 3 Modelo B	65
Micro controlador: Arduino Nano	68
Etapa de Potencia.....	69
Problema	69
Planteamiento de la solución	69
Implementación de la solución	70
Motores a Controlar	74
Etapa de Control de Posicionamiento de Motores y lectura de Sensores	75
Problema	75
Planteamiento de la solución	75
Implementación de la solución	75
Comentarios Finales	83
Capítulo 4: Descripción del Software Propuesto	84
Introducción.....	84
Sistema de Control HMI	85
Problema	85
Planteamiento de la solución	85
Implementación de la solución	85
Control Gráfico del Sistema:	85
Conclusiones	90
Sistema de Procesamiento y Control de Entradas/Salidas Digitales	91
Problema	91
Planteamiento de la solución	91

Implementación de la solución	91
Comentarios Finales	95
Capítulo 5: Pruebas Experimentales y Resultados de Validación	96
Introducción.....	96
Manual de Operación del Equipo	97
Pruebas de validación en condiciones reales de operación	101
Pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 30 x 60 cm (tipo 2):	101
Pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 50 x 70 cm (tipo 1):	105
Pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 30 x 60 cm (tipo 2):	108
Pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 50 x 70 cm (tipo 1):	112
Valuación de Resultados obtenidos	115
Capítulo 6: Conclusiones y Comentarios:	116
Introducción.....	116
Cuadro de Costos	116
Cumplimiento de los objetivos planteados	117
Objetivo General.....	117
Objetivos Específicos	118
Conclusiones generales.....	119
Recomendaciones para trabajos futuros.	119

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Consecuencia de Avería de Sistema de Control en la Producción de la Empresa	17
Ilustración 2.Árbol del Problema.....	18
Ilustración 3.Máquina Estacionaria SV3000 con PLC (Imagen: S.L.2016).....	20
Ilustración 4. Máquina de Arenado SV6-1800 (Imagen: Industry 2015).....	21
Ilustración 5.Mistral 120 V – 120 (Imagen: Gilbarbara 2015).....	22
Ilustración 6.Máquinas de Explosión DBS-25 RC/ DBS-50, Control Remoto (Imagen: Contractor 2017).....	23
Ilustración 7.AUTOMATIC PLC VERTICAL GLASS SANDBLASTING (Imagen Contractor 2017).....	24
Ilustración 8 . Producción Empresa VARSA EIRL.....	27
Ilustración 9 . Producción Empresa VARSA EIRL.....	30
Ilustración 10. Funcionamiento General de Equipo de Arenado (Elaboración propia) .	35
Ilustración 11. Funcionamiento del Sistema de Control.....	36
Ilustración 12. Máquina Arenadora Glasstek SX20	37
Ilustración 13. Diagrama pictórico del funcionamiento del Sistema de Control de la Máquina de Arenado.....	39
Ilustración 14. Funcionamiento Interno del Sistema de Control del Equipo de Arenado SX20 (Elaboración propia)	40
Ilustración 15. Cinta Transportadora	49
Ilustración 16. Diagrama de Bloques Lazo Cerrado (Elaboración propia)	52
Ilustración 17. Diagrama de Bloques del Proyecto (Elaboración Propia)	52
Ilustración 18. Dispositivo elegido para el Control del Sistema	53
Ilustración 19. Etapas de Raspberry Pi 3	54
Ilustración 20. Microcontrolador Arduino Nano	55
Ilustración 21. Conexiones de Microcontrolador Arduino Nano	55
Ilustración 22. Pantalla Táctil HDMI	56
Ilustración 23. Diagrama de Flujo de Proceso (Elaboración Propia)	58
Ilustración 24. Etapas de Diseño del Equipo	59

Ilustración 25. Etapa de Ingreso de Datos y Control HMI Human Machine Interface (Elaboración propia)	61
Ilustración 26. Pantalla Táctil HDMI	61
Ilustración 27. Sistema HMI del Equipo	62
Ilustración 28. Sistema de Monitoreo y Control Remoto.	63
Ilustración 29. Componentes del Sistema de Control (Elaboración Propia)	65
Ilustración 30. Etapas que se integran al sistema de Control (Elaboración Propia)	67
Ilustración 31. Etapas integradas al Microcontrolador Arduino Nano (Elaboración Propia)	68
Ilustración 32. Diagrama de interconexión entre dispositivos de Control (Elaboración Propia).....	69
Ilustración 33. Etapa de Potencia (Elaboración propia)	70
Ilustración 34. Optocopladores para leer los sensores Ingreso	71
Ilustración 35. Diagrama en Eagle de Optocopladores	72
Ilustración 36. Diseño electrónico para generar pulsos de Control para los variadores de Velocidad (Elaboración Propia)	72
Ilustración 37. Salidas Digitales de 24 VDC (Elaboración Propia).....	73
Ilustración 38. Diseño Final de la Tarjeta.....	73
Ilustración 39. Diseño Final de Tarjeta de Control (Elaboración Propia)	74
Ilustración 40. Placa de Motor a controlar (Elaboración Propia)	74
Ilustración 41. Variadores de Velocidad VAT20 U20N0K4S	78
Ilustración 42. Se utilizan las entradas 3 y 4 para enviar los pulsos de control.....	79
Ilustración 43. Descripción de Entradas y Salidas Variador de Velocidad	79
Ilustración 44. Encoder Johner (Elaboración Propia)	80
Ilustración 45. Conexiones a realizar para leer los encoders	80
Ilustración 46. Encoder Marca Hohner (Elaboración Propia)	81
Ilustración 47. Características Mecánicas del Encoder - (Datasheet del producto)	81
Ilustración 48. Señales de Salida de los Encoders	82
Ilustración 49. Diagrama de Bloques de componentes a Nivel de Software (Elaboración propia).....	84
Ilustración 50. Control Gráfico y Táctil del Equipo. Diseñado en Node Red	86
Ilustración 51. Diagrama de bloques a Nivel de Software	95
Ilustración 52. Manual de Operación del Equipo	97
Ilustración 53. Manual de Operación: Modos de Operación.....	97

Ilustración 54 Manual de Operación: Paso 01	98
Ilustración 55 Manual de Operación: Modo Manual	98
Ilustración 56 Manual de Operación: Modo Automático	99
Ilustración 57 Manual de Operación: Ingreso de parámetros	99
Ilustración 58. Manual de Operación: Proceso	100
Ilustración 59. Manual de Operación: Soporte técnico del equipo	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro Comparativo de Equipos de Arenado (Elaboración propia)	25
Tabla 2. Rentabilidad de la empresa VARSA EIRL	30
Tabla 3. Resumen Producción y Utilidad de la empresa VARSA EIRL.....	31
Tabla 4. Principales fabricantes de Vidrios Arenados en el Perú	42
Tabla 5. Cuadro Comparativo de Costos de las máquinas de arenado (Elaboración Propia)	43
Tabla 6. Costo de Implementación de Proyecto	117
Tabla 7. Cuadro comparativo de Costos	117

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Torque Inducido en el Motor	48
Ecuación 2. Velocidad de Deslizamiento	48
Ecuación 3. Potencia del Motor	48
Ecuación 4. Rendimiento del Motor	48
Ecuación 5. Potencia útil del eje del motor	49
Ecuación 6. Potencia total.....	49
Ecuación 7. Potencia Faja	50
Ecuación 8. Fuerza Tangencial.....	50
Ecuación 9. Ecuación de Velocidad	51

LISTA DE SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

v : Velocidad de la faja

P : Potencia necesaria en el motor

k : Constante que depende del tambor y la fricción entre este y la banda

μ : Es el coeficiente de fricción del movimiento de la banda

g : Gravedad

m : Masa Total

m_b : Masa de la Faja

τ_{ind} : Es el torque inducido en el rotor,

B_R : Son los campos magnéticos en el rotor

B_s : Son los campos magnéticos en el estator respectivamente.

s : Es el deslizamiento

n_{sinc} : Es la velocidad síncrona del motor

n_m : Es la velocidad mecánica del rotor

P_u : Es la potencia útil

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el boom de la construcción de nuevos edificios para oficinas y el avance en el diseño personalizado de las nuevas edificaciones ha permitido que se puedan mejorar los procesos de fabricación de materiales necesarios para la construcción de los mismos. En cuanto a los materiales utilizados, los vidrios empavonados o arenados, se han convertido en un elemento principal para la implementación de ventanas o puertas de vidrio con difuminado. Así mismo, estos vidrios también son utilizados en departamentos, casas y hoteles debido al estilo personalizado que les da el vidrio a los ambientes y permite también agregar privacidad a los espacios que cuentan con él.

El vidrio empavonado, se puede realizar a través de láminas que se pueden pegar al vidrio. Sin embargo, en esta técnica se tiene el problema de que esta lámina al poco tiempo se levanta y daña el acabado del vidrio. La técnica más eficiente, es la de someter el vidrio a una máquina que, por medio de la aplicación de arena a presión, logra que el vidrio tenga un efecto de empavonado. Estas máquinas arenadoras de vidrio, tienen la ventaja de que son fáciles de usar para el operario y permite la gran producción de vidrios arenados de diferentes medidas rápidamente. La desventaja de las máquinas arenadoras, es el alto costo de compra e importación debido a que son de gran tamaño. Sin embargo, las empresas invierten en ellas debido a los resultados obtenidos y la rentabilidad que produce la fabricación en serie de los vidrios arenados.

El problema que tienen las empresas que cuentan con estos equipos, es que si el sistema de control que tiene implementado la máquina se avería, la máquina completa deja de operar. El costo de compra e importación de un sistema de arenado, puede significar hasta el 60% del costo de un equipo nuevo y no se tienen repuestos en el mercado local. Por ello, la problemática de los productores no tiene una solución local y de bajo costo para poner a operar nuevamente a la máquina.

El presente proyecto, busca solucionar este problema proponiendo una solución que se encuentre disponible a las empresas locales a un costo inferior al diez por ciento (10%) del costo de un equipo nuevo. Lo cual también evitaría que incurran en gastos de importación. Así mismo, permitiendo ahorro de tiempo y dinero, lo cual es primordial es un proceso de fabricación. El proyecto implementa un sistema de control y monitoreo nuevo que permita también realizarse remotamente a través de un celular o una Tablet

agregando una funcionalidad y una ventaja para el operario y el supervisor del proceso de arenado, permitiendo un manejo del equipo de una manera más simple y logrando el mismo acabado que con un sistema de control de fábrica.

El contenido de este trabajo está dividido fundamentalmente en cinco capítulos: Aspectos introductorios, marco teórico, descripción de la etapa de Hardware del sistema de control propuesto, descripción de la etapa de software del sistema propuesto y las pruebas, resultados y validación.

Capítulo 1: Aspectos Introductorios

Situación Problemática y Definición del Problema

Situación Problemática

El proceso de arenado de vidrio, fue inventado en el año 1870, en Estados Unidos, por el norteamericano Benjamín C. Tilgman¹. Quien observó, como los vidrios de las ventanas se oscurecían y opacaban mediante el constante contacto de la arena, originado por las brisas del mar, cuando el viento soplabá. Por ello, emprendió a experimentar progresivamente y fue implementando y desarrollando métodos que facilitaban y aceleraban el proceso de arenado.

En la actualidad, este proceso ha evolucionado y es utilizado industrial y comercialmente, tanto en la decoración como en talleres de mecánicos, farmacéuticas, agencias de publicidad y otros. Sin embargo, el costo de los equipos para arenar vidrios, en serie, es altamente elevado debido a que no son fabricados nacionalmente y deben ser importados. Lo cual genera los siguientes problemas:

Si el sistema de control del equipo se avería, el costo de comprar un equipo nuevo e importación del mismo, incrementa los costos los cuales pueden estar por encima del presupuesto anual por los fabricantes y diseñadores. El cual puede significar hasta el 60% del costo de un equipo completo nuevo.

Cuando en una máquina de arenado, el sistema de control del equipo falla, el control de los motores también se pierde por lo que el equipo se queda sin el principal componente de funcionamiento. Es decir, el sistema de control es vital para la operación del equipo por lo que su operatividad es un concepto crítico para la producción diaria de la fábrica.

No se dispone alta gama de repuestos para el sistema de control de los equipos de arenado de vidrio, debido a que el funcionamiento de sistema del control es licenciado por el fabricante. Si se implementa un sistema de control, cada equipo tiene variantes en los

¹ Cfr. (Rogers, 2011)

parámetros lo cual puede complicar el proceso de implementación, si no se tienen los suficientes conocimientos ingenieriles del proceso.

En la empresa VARSA EIRL, se presentó avería una de las máquinas arenadoras, la cual tiene el sistema de control averiado desde el mes de Agosto del 2017. Lo cual produjo un alto impacto en la producción y la utilidad de la empresa debido a que redujo la capacidad de producción. Por ello, se tiene la necesidad de buscar un reemplazo al sistema de control del equipo.

Ilustración 1. Consecuencia de Avería de Sistema de Control en la Producción de la Empresa

Definición del Problema

En la siguiente Figura 1. Se presenta el diagrama del árbol del problema, donde se indican las causas primarias, causas secundarias y las consecuencias principales y secundarias que traen consigo el problema principal.

Ilustración 2.Árbol del Problema

Problema General

Si el sistema de Control de la máquina de Arenado se avería, se debe importar un nuevo sistema de control del fabricante a alto costo (puede significar hasta el 60% del costo de un equipo nuevo) y con tiempos prolongados de importación (de 45 a 60 días calendarios). Generando baja disponibilidad del equipo. Adquirir o reparar un sistema de control en el mercado local, no es factible debido a que el software de programación del controlador es propiedad del fabricante y no se encuentra publicado para replicarlo. Así mismo, no se dispone fácilmente de personal calificado, en el mercado local, sobre el desarrollo y reparación de este tipo de sistemas. Por lo tanto, el problema es la Baja disponibilidad de repuestos para sistemas de control de Máquinas de Arenado de Vidrio en el mercado local.

Problema Ingenieril

¿Qué consideraciones tecnológicas e ingenieriles de diseño electrónico y diseño de software se tienen que llevar en cuenta, a fin de implementar un sistema de control alternativo para la maquina Arenadora Glasstek SX20 que satisfaga los requerimientos de la empresa Arenado de la vidrio, con el objetivo de reemplazar el sistema de control de fábrica manteniendo la calidad a un bajo costo de producción?

Estado del Arte

Productos y soluciones existentes

SV3000 con PLC - Maquina de Arenado de Vidrio Estacionaria²

El equipo cuenta con las siguientes características:

- Altura de chorro de arena útil: 1200 mm, la parte superior abierta permite un mayor chorro de arena.
- Posibilidad de programar y memorizar las medidas de las piezas.

² Cfr. (S.L., 2016)

Ilustración 3. Máquina Estacionaria SV3000 con PLC (Imagen: S.L.2016)

Comparación con relación al requerimiento del cliente:

1. Ventaja:

Este equipo tiene la facilidad de trabajar con dos compresoras de aire al mismo tiempo.

2. Desventaja:

Este equipo tiene un sistema de control mediante botones. No dispone de un panel táctil que facilite la programación al usuario final. El costo de este equipo de aproximadamente es de \$80,000.00 incluido impuestos e importación. El equipo cuenta con una garantía de fábrica de 03 años el cual no contempla desperfectos eléctricos que puedan dañar el sistema.

SV6

Este equipo se utiliza para realizar el arenado de vidrio. El cual tiene las siguientes características: ³

- Es utilizado para trabajos de producción en serie.
 - Movimiento automático de retorno de la correa.
 - Posibilidad de trabajar con una o dos pistolas.
 - Eliminar los finales de carrera para trabajar en continuo en trabajos urgentes.
- Programar y memorizar las dimensiones.

Comparación con relación al requerimiento del cliente:

1. Ventaja:

³ Cfr.(Industry, 2015)

Este equipo cuenta con un sistema de control muy similar al sistema propuesto, e incluso permite colocar modos de operación adicionales.

2. Desventaja:

El equipo tiene un costo aproximado de \$95,000.00 incluido impuestos e importación. El tiempo de importación va entre 45 y 60 días calendarios. Requiere que un personal técnico se encargue del ensamblado y montaje del equipo. No brinda soporte local, se debe contactar con el proveedor en el exterior para la atención de problemas.

Ilustración 4. Máquina de Arenado SV6-1800 (Imagen: Industry 2015)

MISTRAL 120 V – 120

Este equipo se utiliza para realizar el arenado de vidrio. El cual tiene las siguientes características:⁴

- Soportes de vidrio de entrada y salida, cada uno de 1.400 mm. longitud.
- Movimiento escalonado de la placa de vidrio (el paso es programable de acuerdo al tipo de chorreado a implementar).
- Segunda pistola automática (sólo para modelo Mistral 120V) para aumentar la velocidad de funcionamiento.

⁴ Cfr.(Gilbarbara, 2015)

Ilustración 5. Mistral 120 V – 120 (Imagen: Gilbarbara 2015)

Comparación con relación al requerimiento del cliente:

- **Ventaja:**

El equipo tiene un costo aproximado \$ 45,000.00, lo cual lo hace atractivo en cuanto al precio de las otras máquinas arenadoras.

- **Desventaja:**

Este equipo tiene un sistema de control mediante botones. No dispone de un panel táctil que facilite la programación al usuario final. El proyecto propuesto dispone de un sistema de control táctil y Wireless.

MÁQUINAS DE EXPLOSIÓN DBS-25 RC / DBS-50 RC, CONTROL REMOTO

Este equipo se utiliza para realizar el arenado de vidrio. El cual tiene las siguientes características:⁵

- Chorreado abrasivo de alto rendimiento de construcciones metálicas y edificios, puentes, depósitos, tuberías, superficies de hormigón.
- Tanque de 25 a 50 litros de capacidad, pantalla, tapa, válvula de arena, separador de humedad de alto rendimiento.

⁵ Cfr. (Contracor, 2017)

Ilustración 6. Máquinas de Explosión DBS-25 RC/ DBS-50, Control Remoto
(Imagen: Contractor 2017)

Comparación con relación al requerimiento del cliente:

- **Ventaja:**

Este equipo tiene un costo mucho menor a una máquina de Arenadora tradicional. El cual puede ser aproximadamente entre los \$8,000.00 y \$10,000.00 dependiendo de las características del equipo.

- **Desventaja:**

El acabado y la calidad del arenado, no es la misma que cuando se realiza en una máquina de arenado ya que el proceso de arenado no es uniforme. Se debe operar manualmente.

AUTOMATIC PLC VERTICAL GLASS SANDBLASTING

La máquina de chorreado vertical automática del vidrio controlada por un PLC cuenta con las siguientes características:

- La máquina HPS2000P se equipa de tres sistemas automáticos.
- Pistolas de chorro de arena, controladas por un PLC programable.
- Todos los parámetros del vidrio se pueden exhibir por la pantalla del interfaz de la máquina.
- Es conveniente para el proceso del vidrio arenado en gran escala.

Ilustración 7.AUTOMATIC PLC VERTICAL GLASS SANDBLASTING (Imagen Contractor 2017)

Comparación con relación al requerimiento del cliente:

- Ventaja:

Se pueden programar modos de operación y velocidad de operación a través de la configuración del PLC.

- Desventaja:

Si el PLC se avería, se debe considerar el reemplazo de todo el sistema de control de equipo, lo cual puede significar hasta un 60% del costo de un equipo nuevo.

Comparación de equipos de arenado: (Elaboración Propia)

Modelo	Tipo de Control	Tipo de Sistema de Control	Ventaja	Desventaja
SV3000	Manual	PLC Programado de fábrica	Puede trabajar con dos compresoras de aire en simultaneo	El control solo se realiza mediante botones. No dispone de un panel táctil.
SV6	Manual y automático	PLC Programado de fábrica	Se puede programar mediante botones y por panel.	Si el sistema de control se avería se debe importar uno nuevo que demora entre 45 y 60 días calendarios

MISTRAL 120	Manual	PLC Programado de fábrica	Tiene un costo menos elevado en comparación a los otros equipos	El control solo se realiza mediante botones. No dispone de un panel táctil.
DBS-25 RC	Manual	Ninguno	Es el tipo de equipo más económico del mercado para producción en serie de vidrios arenados	La calidad del acabado y la capacidad de producción no es la misma que en una máquina de arenado convencional
AUTOMATIZADO PLC VERTICAL GLASS SANDBLASTING	Manual y automático	PLC Programado de fábrica	El PLC es programable con nuevos modos operación	El costo de un PLC de repuesto representa el 60% de un equipo nuevo

Tabla 1. Cuadro Comparativo de Equipos de Arenado (Elaboración propia)

La solución propuesta incluye en gran cantidad las ventajas de estos equipos y se diferencia porque soluciona las desventajas presentadas por estos equipos.

Publicaciones Científicas e Ingenieriles

Carloman Medina Peralta (1992) en sus tesis “Diseño de una máquina Arenadora para pequeñas piezas “explica la fabricación de una máquina usando la metodología de arenado para piezas de menor tamaño, a las cuales le realizará limpieza y eliminación de sales de tratamientos térmicos, también elimina cascarillas de laminación, así como restos de pintura obsoleta y dejarla preparada para recibir nuevas capas de revestimiento. En su tesis explica las características que deben tener un sistema a fin de realizar el proceso de arenado correctamente. La limitación de la publicación es que solo se centra en el arenado de piezas pequeñas de metal y no explica el proceso aplicado sobre un material delicado como el vidrio.

Diego Xavier Gonzáles Segovia (2002) en su tesis “Estudio y diseño de la automatización del proceso de escarchado de botellas” explica el proceso de escarchado de botellas de VIDRIO, la optimización del proceso se realiza en base a la OBSERVACIÓN y en base a esto realizar la mejora del resultado; este proyecto es una alternativa al proceso manual de escarchado de botellas, lo cual es muy peligroso al ser realizado manualmente. La

limitación de la propuesta del autor se da en que el proceso de escarchado se realiza de manera manual y no de manera automatizada como se requiere para este caso.

Torres Jaramillo, Santiago Ramiro (2013) en su tesis “Diseño y construcción de un prototipo de una estación de limpieza mecánica mediante el proceso de sanblasting utilizando granalla mineral en ciclo continuo para una unidad de mantenimiento y transporte” explica el proceso de limpieza alternativo a los equipos ya conocidos, el cual funciona extrayendo polvo para partículas de hasta 15 μm , y también se agrega el diseño de un sistema de reutilización abrasivo. La limitación de la propuesta la estación de limpieza aplica aire a presión para quitar el óxido de los materiales y a los niveles de presión utilizados podrían romper el vidrio utilizado para este proyecto.

Alfonso Nicolás Espinosa Terán (2015) en su tesis “Diseño y simulación de una cabina de sandblasting para limpieza superficial con sistema de recirculación de granalla para válvulas tipo compuerta de 4” de diámetro explica el proceso de limpieza superficial usando el método de Sandblasting, y teniendo como uso por ejemplo la limpieza de acero de los cascos de los barcos, así mismo en sistemas contra incendios. El proceso de arenado se realiza mediante el control de válvulas de manera manual y a con una abertura de la boquilla de la válvula muy pequeña a fin de aumentar la presión ejercida sobre el material. En el caso del equipo, la presión aplicada es más controlada a fin de no dañar el producto.

Demetrio Cruz Arteaga (2008) en su tesis “Diseño de una boquilla de salida variable empleada en el proceso de limpieza de rodillos con arena metálica “. Explica el diseño, desarrollo de una boquilla de salida la cual se emplearía en la operación de Shot Peening, la cual se usará en la limpieza de rodillos metálicos de cualquier dimensión, esto permitirá la eficiencia en el proceso de granallado empleado en rodillos, ya que se puede variar la presión de salida al realizar modificaciones de la boquilla. En el presente proyecto, la boquilla de la pistola de arenado es fija y no puede ser variada.

Justificación

Justificación respecto a beneficios para el patrocinador del proyecto:

El proyecto responde a solucionar la necesidad de un cliente. La cual fue planteada directamente por la empresa “VARSA EIRL” que en conjunto con su principal Distribuidora “Vidriera Edwin”. Requieren que se repare una máquina de Arenadora

GLASTEK X20, la cual tiene el sistema de control averiado. La empresa no se encuentra en capacidad de adquirir otro equipo nuevo debido a su alto costo (\$80,000.00). Por lo que en acuerdo con los integrantes del proyecto indica que va a apoyar en el proyecto en los siguientes aspectos:

Brindará todas las facilidades para trabajar en la máquina Arenadora que se encuentra con el sistema de control de fábrica averiado.

Así mismo, apoyará económicamente en implementar la solución debido a la importancia que tiene para la empresa el presente proyecto.

La solución propuesta resuelve la situación problemática planteada debido a que permitirá poner nuevamente en marcha la máquina Arenadora de vidrio cuyo sistema de control original se tiene averiado. Este problema es recurrente en las máquinas arenadoras del mercado local y ocasiona que las empresas del rubro incurran en altos gastos impactando directamente en la producción.

La empresa tiene el equipo averiado desde seis meses antes de iniciar con el proyecto, por lo que su capacidad de producción se ha reducido en 60% tal como se observa el siguiente gráfico:

Ilustración 8 . Producción Empresa VARSA EIRL

Justificación Ingenieril:

El desarrollo de la solución propuesta implica resolver diferentes problemas de ingeniería, como son:

- Comprender el funcionamiento de una máquina de Arenado. Estudiar el proceso de inicio hasta el fin del arenado de vidrio. Así mismo, observar el comportamiento de cada uno de los componentes y cuáles son los elementos que se deben controlar y medir.
- Se debe diseñar un sistema de control para el equipo que sea capaz de controlar la máquina de arenado. Es decir, diseñar desde cero, un equipo que sea capaz de reemplazar a un sistema de control fábrica, para los casos en que PLC original se averíe, de tal manera que el sistema de control propuesto deba contar con las mismas características de operación. Lo cual permitirá el ahorro de dinero y tiempo, pues estas máquinas tienen costos elevados y la importación puede demorar hasta 60 días lo cual es pérdida de dinero en la empresa.
- Diseñar e implementar una interface HMI para el ingreso de los datos que procesará el sistema de control. Este sistema HMI debe contar con un entorno grafico que permita al operario la manipulación del equipo de forma práctica y que cuente con los mismos controles del equipo original. Con este logro, se podrá asegurar que la configuración del control de equipo sea más práctica para el operario.
- Programar de un dispositivo que tenga un entorno gráfico y pueda permitir el control y monitoreo mediante otros dispositivos móviles conectados a la Red.
- Diseñar y desarrollar un circuito eléctrico – electrónico que permita dar órdenes a los variadores de velocidad para controlar los motores del sistema. (Sentido de giro)
- Diseñar un circuito electrónico que debe permitir leer los sensores asociados al sistema y también controlar el disparo de la pistola de arenado.

Justificación Económica:

A continuación, se muestra la producción de vidrios arenados desde el 2016 y cómo fue afectado debido a que se malogró el sistema de arenado, en la empresa VARSA EIRL. La máquina se averió en Agosto 2017.

Mes	Producción	Utilidad
Enero 2016	300	S/. 15,000.00
Febrero 2016	350	S/. 17,500.00
Marzo 2016	345	S/. 17,250.00
Abril 2016	364	S/. 18,200.00
Mayo 2016	324	S/. 16,200.00
Junio 2016	308	S/. 15,400.00
Julio 2016	323	S/. 16,150.00
Agosto 2016	372	S/. 18,600.00
Septiembre 2016	336	S/. 16,800.00
Octubre 2016	344	S/. 17,200.00
Noviembre 2016	362	S/. 18,100.00
Diciembre 2016	394	S/. 19,700.00
Enero 2017	328	S/. 16,400.00
Febrero 2017	307	S/. 15,350.00
Marzo 2017	319	S/. 15,950.00
Abril 2017	379	S/. 18,950.00
Mayo 2017	398	S/. 19,900.00
Junio 2017	332	S/. 16,600.00
Julio 2017	218	S/. 10,920.00

Mes	Producción	Utilidad
Agosto 2017	200	S/. 10,000.00
Septiembre 2017	187	S/. 9,350.00
Octubre 2017	190	S/. 9,500.00
Noviembre 2017	160	S/. 8,000.00
Diciembre 2017	150	S/. 7,500.00

Tabla 2. Rentabilidad de la empresa VARSA EIRL

Ilustración 9. Producción Empresa VARSA EIRL

Cómo se puede observar desde el mes de Agosto del 2017, se tuvo un alto impacto en la producción y por ende, la utilidad de la empresa debido a que redujo la capacidad de producción de la empresa. Por ello, se tuvo la necesidad de buscar un reemplazo al sistema de control del equipo.

Si la empresa hubiera adquirido un equipo nuevo hubiera significado la pérdida de un trimestre completo de producción.

Año / Trimestre	Cantidad		Utilidad
	Producida		
2016	4122	S/.	206,100.00
Trim.1	995	S/.	49,750.00
Trim.2	996	S/.	49,800.00
Trim.3	1031	S/.	51,550.00
Trim.4	1100	S/.	55,000.00
2017	3168	S/.	158,420.00
Trim.1	954	S/.	47,700.00
Trim.2	1109	S/.	55,450.00
Trim.3	605	S/.	30,270.00
Trim.4	500	S/.	25,000.00

Tabla 3. Resumen Producción y Utilidad de la empresa VARSA EIRL

Se estima que el producto a desarrollar podría ser más simple y barato que las soluciones tecnológicas integrales encontradas en el mercado actual, a pesar de ofrecer las mismas ventajas y opciones de usuario ya que un nuevo sistema de control de fábrica puede implicar un costo del 60% del importe de un equipo nuevo.

El sistema propuesto en el presente proyecto implicaría un costo menor al cinco (05%) del costo total de un sistema de control de fábrica nuevo. Por ejemplo, una máquina de arenado de la Marca Glastek de gama media puede costar desde \$ 20,000.00 y el sistema de control de fábrica puede tener un costo aproximado de \$ 8,000.00 sin incluir los gastos de importación. Considerando el costo del proyecto que se propone tiene un costo menor a \$ 300.00 el cual significa un 3.75 % del costo de un sistema de control nuevo.

Objetivos

Objetivo General:

Desarrollar un sistema de control alternativo para el equipo de la Marca Glastek modelo XS20. El cual se encuentre orientado a ofrecer un sistema control de arenado que permita generar una alta disponibilidad para el equipo a un costo de producción muy inferior al disponible actualmente. Este sistema de control puede ser adaptable a otros equipos de arenado al tener el mismo proceso.

Objetivos Específicos:

- Comprender el funcionamiento de una máquina de Arenado. Estudiar el proceso de inicio hasta el fin del arenado de vidrio. Así mismo, observar el comportamiento de cada uno de los componentes y cuáles son los elementos que se deben controlar y medir.
 - Indicador: El sistema de control debe completar el proceso de arenado satisfactoriamente, de igual forma que cuando se realizaba con el sistema de control de fábrica.
- Implementar un circuito eléctrico – electrónico que permita dar órdenes a los variadores de velocidad.
 - Indicador: Tarjeta de Control de variadores de velocidad, por medio de señales digitales de 24 VDC que ingresan a las entradas FWD y RWD de los variadores de velocidad
- Programar un sistema HMI táctil que permita ingresar y mostrar los datos ingresados por el operario del sistema.
 - Indicador: Obtener un programa para el sistema HMI que permita ingresar los parámetros necesarios para iniciar con el proceso como son los datos de largo y ancho del vidrio, los cuales serán enviados a la etapa de control.
- Programar un micro controlador capaz de leer la información recibida por los Encoders de cada motor a fin de determinar la distancia recorrida por la pistola y por la faja transportadora.

- Indicador: Obtener un programa para que un Micro controlador sea capaz de leer los encoders a fin de determinar el avance de los motores según los parámetros de ingreso y con ello realizar la secuencia de arenado automáticamente,
- Desarrollar un sistema de control remoto para el funcionamiento del equipo.
 - Indicador: Sistema Web que por medio de una dirección IP permita controlar el proceso a los usuarios conectados a la Red Local.
- Validar el sistema de control, realizando pruebas de arenado de vidrio. A fin de validar el correcto funcionamiento y respuesta de todo el equipo.
 - Indicador: Reporte de validación donde se evidencien las pruebas realizadas con el control del equipo desde el sistema de control HMI y también desde el celular.

Árbol de Objetivos:

Descripción de la Solución Propuesta

Funcionamiento:

El sistema de control propuesto en el presente proyecto, busca reemplazar al sistema original del fabricante y tener las mismas o superiores funcionalidades. El sistema de control debe ser capaz de comandar todos los sensores y actuadores que integran el equipo.

A continuación, se procede a describir paso a paso el funcionamiento del equipo durante todo el proceso de arenado:

- Paso 1: El usuario coloca el vidrio en la faja transportadora.
- Paso 2: El usuario coloca mediante el módulo de configuración y visualización del equipo los parámetros del proceso (largo y ancho del vidrio). Para este punto tiene la opción de hacerlo mediante una pantalla táctil o un dispositivo móvil (celular o tablet)
- Paso 3: El sistema de control procesa los datos ingresados por el usuario e inicia el movimiento de la faja de izquierda a derecha.
- Paso 4: El vidrio se desplaza hasta que activa el primer sensor de la faja
- Paso 5: La pistola de arenado se coloca en posición para empezar el arenado mientras llega el vidrio a arenar.
- Paso 6: Se inicia el proceso de arenado desplazando la pistola de arenado verticalmente y la faja transporta el vidrio mientras se realiza el arenado
- Paso 7: Se activa el segundo sensor de la faja y el vidrio procede a salir ya arenado.
- Paso 8: El usuario procede a retirar el vidrio.

La siguiente figura muestra una imagen pictórica del funcionamiento del deshidratador

Ilustración 10. Funcionamiento General de Equipo de Arenado (Elaboración propia)

Funcionamiento del Sistema de Control

Ilustración 11. Funcionamiento del Sistema de Control

Funcionamiento interno del equipo

Máquina de Arenadora Glasstek SX20

Se va a trabajar con la máquina de Arenado marca Glasstek modelo SX20, la cual tiene el sistema del control averiado.

La cual cuenta con las siguientes características:

- Dos modos de operación manual y automático.
- Cuenta con dos variadores de velocidad para el control de la pistola de arenado y para la baja
- Cuenta con un sistema de control por pantalla con botones.
- El costo de un equipo nuevo, incluido gastos de importación y ensamblaje es de \$ 50,000.00.
- El costo de un sistema de control nuevo para este equipo es de \$8,000.00 y significa un tiempo de importación que va entre 45 y 60 días calendarios.

Ilustración 12. Máquina Arenadora Glasstek SX20

Descripción de funcionamiento interno del sistema de control

A continuación, se procede a describir paso a paso el funcionamiento y los parámetros a tener en cuenta del sistema de control para la Máquina de Arenadora Glasstek SX20

- Paso 1: El usuario coloca el vidrio en la faja transportadora. El sistema de control debe leer el valor del “Primer Sensor Horizontal de la Faja”
- Paso 2: El usuario coloca mediante el módulo de configuración y visualización del equipo los parámetros del proceso (largo y ancho del vidrio). Para este punto tiene la opción de hacerlo mediante una pantalla táctil o un dispositivo móvil (celular o tablet). El sistema de control mediante una interfaz Web lee los datos ingresados y los procesa para controlar el sistema de arenado.
- Paso 3: El sistema de control procesa los datos ingresados por el usuario e inicia el movimiento de la faja de izquierda a derecha. Una vez que el usuario presiona el botón “INICIO” debe iniciar el proceso enviando una señal hacia los motores de la faja y de la pistola de arenado.
- Paso 4: El vidrio se desplaza hasta que activa el primer sensor de la faja. El sistema de control monitorea y lee constantemente los sensores de posición y con ello alimenta al sistema de control del equipo.
- Paso 5: La pistola de arenado se coloca en posición para empezar el arenado mientras llega el vidrio a arenar. El sistema de control del equipo envía señales de control que accionan a los variadores de velocidad para el movimiento de la pistola de arenado.
- Paso 6: Se inicia el proceso de arenado desplazando la pistola de arenado verticalmente y la faja transporta el vidrio mientras se realiza el arenado. El flujo de proceso es secuencial, según las señales leídas de los sensores se envían pulsos de control a los actuadores.
- Paso 7: Se activa el segundo sensor de la faja y el vidrio procede a salir ya arenado. El proceso culmina cuando se activa el último sensor de fin de carrera y empieza la secuencia de salida de vidrio.
- Paso 8: El usuario procede a retirar el vidrio. Se termina el proceso y se notifica al usuario.

La siguiente figura muestra una imagen pictórica del funcionamiento del Sistema de Control de la Máquina de Arenado:

Ilustración 13. Diagrama pictórico del funcionamiento del Sistema de Control de la Máquina de Arenado

Funcionamiento Interno del Sistema de Control del Equipo de Arenado SX20

Ilustración 14. Funcionamiento Interno del Sistema de Control del Equipo de Arenado SX20 (Elaboración propia)

Limitaciones de la solución:

La solución implementada se limita a realizar las mismas funciones ofrecidas por el anterior sistema de control original de fábrica del Equipo Glasstek SX20.

De requerir funcionamientos adicionales o nuevas características., se debe evaluar y considerar en la programación a implementar según la complejidad, así mismo, se deben considerar las horas adicionales de las pruebas de éxito y error.

El sistema de supervisión solo contará con una pantalla donde se visualizará datos, no tendrá una pantalla donde se visualice gráficas en tiempo real. De requerirlo, se puede implementar un sistema de monitoreo a través de un computador; sin embargo, debe implementarse un sistema de comunicación adicional.

Resumen de resultados esperados:

A continuación, se describen los resultados y beneficios que se espera alcanzar con la solución propuesta:

- Se busca controlar el equipo de Arenado de marca Glasstek SX20 cuyo sistema de control se encuentra averiado, logrando un acabado de vidrio igual al que se logra usualmente. Para ello se realizarán varias pruebas y se comparará cualitativamente con vidrios fabricados anteriormente.
- Con la solución propuesta se espera reemplazar el sistema de control y solucionar la problemática actual de la empresa VARSA E.I.R.L. al no poder comprar un repuesto de alto costo. Por lo que la construcción del equipo debe ser menor a S/. 5,000.00. Así mismo,

Aplicaciones y usuarios potenciales del producto

Se busca que el Sistema de Control sea una solución económica y atractiva para que a futuro las empresas vidrieras puedan adquirir el sistema de control para sus máquinas arenadoras y solucionar la problemática que tiene actualmente.

Es decir, el producto presenta un gran mercado potencial de ventas, debido a que es un proyecto orientado a los fabricantes de vidrios que tienen que realizar grandes inversiones para adquirir equipamiento nuevo en caso el sistema de control del equipo se malogra, pues al tener un daño en el PLC deberán optar por comprar una nueva máquina de arenado

en caso no se pueda reparar. En la siguiente tabla, se muestran empresas fabricantes de vidrio arenado que son considerados potenciales clientes:

Empresa	Participación en el mercado local
Glasstek Perú	20%
Furukawa	18%
Corporación Monroy.	15%
Cristal Temp	13%
Vidriería Lezma Arenados & Biselados	5%
Granallado Roalz S.A.C	2%

Tabla 4. Principales fabricantes de Vidrios Arenados en el Perú

Viabilidad

Viabilidad técnica:

En la bibliografía de los procesos se describe de forma clara las características de los procesos de arenado, ya que se ponen en práctica los conocimientos de ingeniería para el desarrollo del equipo, tanto para el diseño como para la implementación y pruebas de control del equipo.

El proyecto es viable técnicamente debido a los siguientes puntos:

- Se tienen conocimientos de programación de microcontroladores
- Se tienen conocimientos de modelación de sistemas conociendo solo valores de salida
- Se tiene conocimientos de programación de lazos de control
- Se tiene conocimientos de diseño y fabricación de placas electrónicas
- Los componentes que se utilizarán para poder realizar el proyecto tienen una gran facilidad de ser adquiridos en el mercado nacional

Viabilidad económica:

El equipo diseñado tiene un costo de producción inferior a S/.1,000.00 (mil soles). Este costo es muy inferior al costo de los equipos disponibles en el mercado actualmente, facilitando así la promoción del equipo. Además, al tener un precio de producción mucho menor al precio de los equipos existentes, se promueve el aumento de clientes interesados en adquirir una máquina arenadora.

Modelo	Tipo de Control	Tipo de Sistema de Control	Costo	Tiempo de importación
SV3000	Manual	PLC Programado de fábrica	\$80,000.00 de equipo Nuevo. Sistema de control un costo de \$8,000.00	Entre 45 y 60 días
SV6	Manual y automático	PLC Programado de fábrica	\$95,000.00 de equipo Nuevo. Sistema de control un costo de \$9,500.00	Entre 45 y 60 días
MISTRAL 120	Manual	PLC Programado de fábrica	\$45,000.00 de equipo Nuevo. Sistema de control un costo de \$4,500.00	Entre 45 y 60 días
DBS-25 RC	Manual	Ninguno	\$8,000.00 de equipo Nuevo.	Entre 45 y 60 días

Tabla 5. Cuadro Comparativo de Costos de las máquinas de arenado (Elaboración Propia)

El producto propuesto presenta un gran mercado potencial de ventas ya que aproximadamente el 30% de fabricantes locales han reportado fallas en los últimos 10 años.

Viabilidad Social:

La implementación del proyecto permitirá a las empresas que se dedican al rubro de la vidriería poder adquirir máquinas arenadoras sin tener que preocuparse por el posible daño en el PLC, el cual afectaría económicamente a la empresa; este proyecto podrá darle confianza a las pequeñas empresas dedicadas a este rubro a adquirir estas máquinas y poder crecer empresarialmente teniendo un menor riesgo de pérdida económica.

Como se ha mencionado anteriormente, el equipo tiene un costo de producción inferior respecto a la actual oferta que existe en el mercado local. Este hecho impulsa el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas arenadoras de vidrio peruanas ya que aumentaría la continuidad de su producción y tener un reemplazo accesible a bajo costo.

Viabilidad Operativa:

Dentro de los requerimientos que se tienen para la puesta en operación del equipo se encuentran la competencia de precio en el mercado local, los dispositivos a elegir para la implementación deben ser de código libre y deben ser fáciles de conseguir localmente. Además, el proyecto es viable operativamente porque cumplirá con las especificaciones técnicas del sistema de Control Original del Fabricante.

Alternativas

No se tienen soluciones en el mercado local para comprar sistemas de control de estos equipos sin incurrir en gastos de importación

Comentarios Finales

Se puede concluir que la elaboración de este sistema de control podrá aumentar y dar mayor confianza en la adquisición de estas máquinas, con lo cual se mejorará la competitividad en las empresas que se dedican al rubro de la vidriería.

Debido a que puede utilizarse como un sistema de control de reemplazo a un costo inferior al ofrecido por el fabricante el cual tiene costos elevados. Un sistema de control de repuesto puede tener un costo mayor a \$5,000.00 dólares más los costos de importación. El diseño de este sistema de control abre las puertas para poder aumentar el mercado de las máquinas arenadoras para ser usadas en otros rubros. Además, que al controlar el proceso de arenado, se pueden trabajar en nuevos sistemas de arenado más personalizados según los requerimientos de los fabricantes.

Capítulo 2: Marco Teórico

A continuación, se describe la base teórica de conocimiento que soporta al proyecto

Introducción

Para poder diseñar, modelar y replicar el funcionamiento de una máquina arenadora cuyo sistema de control se encuentra dañado y por lo tanto la máquina queda inoperativa, se debe entender conceptos de física, electrónica, para que el producto final, sea de la misma calidad o mejor que cuando operaba la máquina con el PLC original de fábrica.

En este capítulo se va a describir los conceptos teóricos de física, electrónica, mecánica que son necesarios para poder desarrollar un nuevo sistema alternativo de control para la automatización de una máquina arenadora.

Conceptos Físicos

Proceso de Arenado

El proceso de arenado consiste en expulsar a una alta presión arena, esta fuerza abrasiva hace que la arena se impregne en la superficie del material que se está arenando, en este caso en específico es el vidrio a quien se está arenando.

Tipos de Arenado

- Chorro húmedo abrasivo: Este tipo es utilizado para la eliminación de polvo de silicato, remoción de asbestos, radiactivos, componentes venenosos.
- Chorreado con vidrio: Se utilizan partículas finas de vidrio a alta presión pero no dañan la superficie, este tipo de chorreado es utilizado para limpiar azulejos de piscinas, calcio de las baldosas, pule (para recuperar el color), se usa también en talleres de pintado de carros.

- **Chorroado de rueda:** Se aplica a través de la fuerza centrífuga de una rueda, el cual impulsa el medio abrasivo hacia el objeto, este tipo de chorroado a rueda es de alta potencia y eficiencia.
- **Hidrochorroado:** Es mayormente usado porque solo necesita un operador, es usado para quitar pintura vieja, químicos sin malograr la superficie, este tipo de chorro puede reutilizar el agua, con esto reduce el consumo de este elemento, haciendo este tipo de chorro amigable con el medio ambiente.
- **Granallado:** Se usa para limpiar el metal, este método se utiliza en las industrias de metales, como por ejemplo: aeronáutica, naval, ferrocarril; existen dos tipos de tecnologías: granallado por turbina y chorroado por aire.

Elementos de control

A continuación, se muestran los elementos que componen las etapas de control:

Actuadores

Motor de Inducción:

En el caso de los motores de inducción, el rotor está construido principalmente de dos formas. En el caso de los rotores de jaula de ardilla, se incrustan barras conductoras al largo del rotor y se cortocircuitan por medio de anillos en los extremos. En el caso de los rotores devanados, el rotor cuenta con un conjunto de devanados que son un reflejo de los que hay en el estator; estos están conectados a anillos que se cortocircuitan por medio de escobillas.

En el caso del rotor jaula de ardilla, el movimiento del campo magnético del estator induce una tensión eléctrica en las barras conductoras. Dado que están en cortocircuito, se genera una corriente eléctrica a través de estas. El flujo de corriente en el rotor produce su propio campo magnético.

EL torque inducido en el motor es igual al producto vectorial de ambos campos multiplicado por una constante que depende del motor:

$$\tau_{ind} = k \vec{B}_R \times \vec{B}_S$$

Ecuación 1. Torque Inducido en el Motor

Donde τ_{ind} es el torque inducido en el rotor, B_R y B_S son los campos magnéticos en el rotor y el estator respectivamente.

El rotor siempre girará a una velocidad angular menor que la velocidad del campo magnético del estator, puesto que a esa velocidad dejaría de haber corriente inducida en el rotor. Se le llama velocidad de deslizamiento a la diferencia entre la velocidad síncrona y la del rotor; esta se suele expresar en un porcentaje con respecto a la velocidad síncrona:

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} \times 100\%$$

Ecuación 2. Velocidad de Deslizamiento

Donde s es el deslizamiento, n_{sinc} es la velocidad síncrona del motor y n_m es la velocidad mecánica del rotor.⁶ La potencia activa que consume el motor se calcula en base a la tensión de alimentación, la corriente entregada y el factor de potencia del motor:

$$P_a = \sqrt{3} U I \cos\phi$$

Ecuación 3. Potencia del Motor

El rendimiento es el cociente entre la potencia útil que suministra el eje del motor y la potencia activa que el motor consume:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Ecuación 4. Rendimiento del Motor

Por lo tanto, la potencia útil se puede expresar de la siguiente manera:

⁶ Cfr. Chapman 2015, p. 231 - 235

$$P_u = \sqrt{3} U I \eta \cos\varphi$$

Ecuación 5. Potencia útil del eje del motor

La potencia necesaria para mover una máquina usando el motor se calcula por medio del torque y la velocidad angular requeridas en el eje⁷:

$$P_r = \tau \omega$$

Ecuación 6. Potencia total

Faja Transportadora de Vidrio:

Las bandas, fajas o cintas transportadoras consisten en una banda sinfín conectada a un motor y sobre la que se ponen bultos o materiales a granel para que sean transportados horizontalmente o con cierta inclinación.

Ilustración 15. Cinta Transportadora

⁷ Cfr. Roldán Vilorio 2010, p. 86 - 88

Las partes fundamentales de una banda transportadora son, además de la banda misma, la estación accionadora que hace girar el tambor impulsor o motriz, la estación tensora que comprende el tambor de tensión y otros dispositivos tensadores, y los rodillos de transporte (que a veces son reemplazados por un revestimiento continuo de madera o metal). Todos estos componentes están ensamblados sobre un bastidor metálico.⁸

Ya que la banda transportadora es una máquina que convierte el movimiento rotatorio del motor en uno de traslación. Se tiene lo siguiente:

La potencia necesaria para accionar la banda está en relación a la velocidad de esta y a la fuerza tangencial en el tambor motriz:

$$P = k F v$$

Ecuación 7. Potencia Faja

Donde P es la potencia necesaria en el motor, k es una constante dependiente del tambor y la fricción entre este y la banda, F es la fuerza tangencial y v es la velocidad de la banda.

La fuerza tangencial está en función de la masa total que el tambor motriz debe mover y la fricción entre la banda y los rodamientos (o el revestimiento continuo):

$$F = \mu g (m + m_b)$$

Ecuación 8. Fuerza Tangencial

Donde μ es el coeficiente de fricción del movimiento de la banda, g es la gravedad, m es la masa total por transportar y m_b la masa de la banda.⁹

⁸ Cfr. Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Salamanca

⁹ Cfr. Forbo Siegling GmbH 2018 y Roldán Vitoria 2010, p. 94

De las dos fórmulas anteriores, se puede derivar la fórmula para calcular la velocidad a la que se transporta una determinada masa en la banda para una potencia dada suministrada por el motor:

$$v = \frac{P}{k \mu g (m + m_b)}$$

Ecuación 9. Ecuación de Velocidad

Donde:

- v : Velocidad de la faja
- P : Potencia necesaria en el motor
- k : Constante que depende del tambor y la fricción entre este y la banda
- μ : Es el coeficiente de fricción del movimiento de la banda
- g : Gravedad
- m : Masa Total
- m_b : Masa de la Faja

Sensores

Los sensores pueden dar valores medibles de la luz, temperatura, etc., todas estas son magnitudes físicas; los sensores pueden ser dispositivos eléctricos y/o mecánicos.

Sensores magnéticos: Son usados para la detección de la posición sin contacto, lo cual no genera desgaste en los sistemas de control.

Sensores inductivos: Son de uso industrial, si se compara con los sensores mecánicos estos ofrecen una condición casi ideal, los sensores inductivos pueden detectar metales sin contacto.

Etapa de Control

En esta etapa se realiza una comparación entre el valor deseado o valor de control y el valor obtenido del proceso, el cual activa a la etapa de control logrando que el error cada vez sea más cercano a cero (0). Para el presente proyecto, se utiliza un modelo de control cerrado de tipo proporcional integral. Para el control de desplazamiento de la faja horizontal y de la pistola de arenado.

Ilustración 16. Diagrama de Bloques Lazo Cerrado (Elaboración propia)

Ilustración 17. Diagrama de Bloques del Proyecto (Elaboración Propia)

Dispositivos Electrónicos para Control

Procesamiento de Data: RaspBerry Pi 3

El Raspberry es un computador de placa única y de bajo costo, este se desarrolló en el Reino Unido por la fundación Raspberry Pi.

El hardware es un producto con propiedad registrada, pero sí de uso libre para el nivel educativo o particular. En cambio, el software es Open Source, siendo su sistema operativo una versión adaptada de Debian (Raspbian), y además permite usar otro tipo de sistemas operativos que se acomoden al proyecto que se desea desarrollar.

En Raspberry es posible crear entornos gráficos que interactúan con objetos, permitiendo controlar motores o robots, y mediante una pantalla conectada por el puerto USB es posible crear entornos para controlar otros dispositivos, una librería que permite crear entornos gráficos es Node-Red.

Ilustración 18. Dispositivo elegido para el Control del Sistema

El Raspberry pi 3 modelo B, es un potente dispositivo que cuenta con las siguientes características:

- Procesador: Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- Memoria Ram: 1GB RAM
- Conectividad Inalámbrica: BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board

- Interfaces Analógicas y Digitales: 40-pin extended GPIO
- Conectividad USB/Serial: 04 puertos USB
- Video: Salida de Sonido Stereo. Full size HDMI
- Conexión pantalla táctil: DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Sistema operativo y almacenamiento: Puerto de conexión Micro SD para sistema Operativo y almacenamiento puede ser 16 Gb, 32 Gb. Se recomienda que sea clase 10 por velocidad y eficiencia.
- Alimentación: Fuente Micro USB 2.5A

Ilustración 19. Etapas de Raspberry Pi 3

Lectura de Entradas y Salidas: Micro controlador Arduino

El arduino Nano, es un dispositivo el cual contiene un micro controlador ATmega328. La ventaja es que permite la programación en C y cuenta con librerías que permiten poder manejar y controlar diferentes dispositivos de forma rápida y eficiente.

Ilustración 20. Microcontrolador Arduino Nano

El Arduino nano cuenta con las siguientes características:

- Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328)
- SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- Frecuencia de reloj: 16 MHz
- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm

Ilustración 21. Conexiones de Microcontrolador Arduino Nano

Visualización de Datos: Pantalla HDMI

El controlador Raspberry Pi 3 permite integrar dispositivos complejos que permiten realizar procesos diversos que en otros microcontroladores implicarían alto consumo de procesamiento y componentes adicionales. En este caso, se requiere mostrar los datos en una pantalla y también ingresarlos de una manera práctica. Por lo tanto, para mostrar e ingresar los datos se utiliza el siguiente componente:

Ilustración 22. Pantalla Táctil HDMI

Características:

- Resolución 1024×600 de alta resolución
- Control táctil capacitivo
- Compatible con Raspberry Pi
- Admite Banana Pi / Banana Pro, viene con Ubuntu, imágenes de Raspbian
- Para otras mini-PC, el controlador es requerido y debe ser desarrollado por los usuarios
- No solo para mini PC, puede funcionar como un monitor de computadora como cualquier otra pantalla HDMI general
- Interfaz HDMI para mostrar, interfaz USB para control táctil
- Control de retroiluminación para reducir el consumo de energía

Comentarios Finales

El avance de la tecnología permite que el producto final puede ser más complejo, y fácil de realizar, en el caso de Node-Red facilita mucho el entorno gráfico a presentar el programa, aparte proporciona bastantes herramientas que permiten personalizar el producto; por otro lado Raspbian además de ser gratuito ofrece ventajas a los programadores que inician que es el de dar la facilidad del entorno gráfico para programar. Esto ayudó en gran medida realizar el proyecto de arenado.

Capítulo 3: Descripción del Hardware Propuesto

Introducción

La implementación del proyecto, es la parte fundamental y de mayor complejidad de todo el proceso de desarrollo del equipo. Se realiza inicialmente un diseño del equipo teniendo en consideración todos los retos ingenieriles que se deben cumplir y junto a la aplicación de todos los criterios y conocimientos adquiridos y la investigación adicional que se realiza a fin de optimizar los recursos a utilizar.

En el desarrollo de esta etapa se realizó una investigación inicial de cómo funciona el proceso de arenado, y con ello se debió elegir con mucho criterio los componentes a utilizar y como deben integrarse entre sí para cumplir con el objetivo del proyecto.

El sistema de control debe contar con un hardware que sea capaz de controlar y complementarse con los demás componentes ya disponibles en el equipo como son la faja horizontal y la pistola de arenado.

El proceso de arenado puede ser resumido en el siguiente diagrama:

Ilustración 23. Diagrama de Flujo de Proceso (Elaboración Propia)

El proceso de arenado, inicia con la carga de parámetros al sistema de acuerdo al tamaño del vidrio que se debe procesar. Se inicia el proceso realizando el movimiento de la faja y de la pistola según los datos leídos de los sensores de posicionamiento. Dentro de este proceso se encuentran variando constantemente los parámetros de control según los estándares programados en el equipo.

El sistema propuesto consta de seis (06) Etapas, de las cuales cinco (05) dependen sistema de Control del Equipo, el cual está compuesto por una Mini-Computadora y un micro controlador. A continuación, se describen las 06 etapas y la función que cumplen dentro del hardware propuesto, así mismo las alternativas de solución que podrían haber sido consideradas junto a los criterios de diseño aplicados.

Ilustración 24. Etapas de Diseño del Equipo

Etapas del Diagrama

Carga de parámetros de configuración

Problema

¿Cómo puede ingresar el operario las medidas del vidrio a procesar, que serán las variables que definan los parámetros de control del equipo de una manera sencilla?

Planteamiento de la solución

Se diseña esta etapa de tal manera que pueda ingresar los valores el operario digitándolos en una pantalla táctil que es una característica que tienen los equipos de arenado de gama media alta. Como mejora al proceso se ofrece la opción de que también puede ser ingresado a través de un dispositivo móvil (podría ser su propio celular) lo cual es una ventaja comparativa que se diferencia de los demás equipos.

Implementación de la solución

En esta etapa se implementa el control del Sistema mediante una pantalla táctil de 07 pulgadas, la cual permitirá que el operario quien actualmente opera presionando solo botones para controlar el equipo, pueda realizarlo mediante un menú de control implementado en la pantalla táctil. Esto último permite un entorno más atractivo y simple de control. Además, el entorno contará con los modos de operación que se utilizan que son el proceso Manual y Automático. Se ingresarán también los valores de ingreso para el proceso de arenado de una manera más sencilla y rápida. En la siguiente figura se muestra los dos modos de operación que tiene implementado el control:

Este sistema se encuentra implementado en una mini computadora y se comunica con el micro controlador del sistema de Control del proceso a fin de realizar el proceso de arenado.

Ilustración 25. Etapa de Ingreso de Datos y Control HMI Human Machine Interface (Elaboración propia)

Para mostrar e ingresar los datos se utiliza el siguiente componente, ya descrito en el Marco Teórico.

Ilustración 26. Pantalla Táctil HDMI

La ventaja de este dispositivo es que puede funcionar como un monitor de computadora como cualquier otra pantalla HDMI general y junto a la interfaz USB para control táctil permite el control del equipo y tiene un menú que tienen las mismas opciones que el sistema de control original. Se encuentra montado sobre el equipo y conectado al tablero de control.

A continuación, se muestra como se integra al equipo:

Ilustración 27. Sistema HMI del Equipo

Etapas de Comunicación: Lectura y Procesamiento de Datos de Manera Remota

Problema

¿En caso de no realizar las configuraciones en la pantalla digital, cómo se puede ingresar y leer los parámetros para arenar el vidrio desde un dispositivo móvil?

Planteamiento de la solución

Se puede implementar el ingreso de los parámetros a través de una dirección IP local, a la que se permita acceder por medio de cualquier dispositivo móvil conectado a la Red Local del equipo. El cual puede ser un celular, Tablet, pc de escritorio, laptop, etc.

Implementación de la solución de Monitoreo Remoto

En esta etapa, se implementa el control HMI puede realizarse también desde cualquier tipo de dispositivo que esté conectado a la red local, como un celular Tablet o PC. Esto permitirá que el operario pueda controlar el equipo desde su celular y que también el supervisor pueda monitorear el proceso desde una PC a través de la red Wifi del proyecto.

Por motivos de seguridad, la red cuenta con usuario y contraseña.

Para lograrlo, se programa en el RaspBerry Pi 3 de tal manera que mediante Software se pueda publicar una página Web a la que se pueda acceder. Mediante hardware se utiliza el raspberry Pi 3 y la funcionalidad que tiene para crear una red local a la cual se pueden conectar los equipos.

Ilustración 28. Sistema de Monitoreo y Control Remoto.

Etapa de Control

Problema

¿Cómo se pueden integrar todas las etapas y hacer que trabajen en conjunto creando un sistema de lectura, procesamiento y control de la información para el proceso de arenado?

Planteamiento de la solución

Se utilizan dos dispositivos programables que se comuniquen entre sí a fin de controlar todo el proceso de Arenado. Para ello, se utiliza un micro controlador, Arduino Nano, para el control de los actuadores y realizar la lectura de los sensores. Así mismo se utiliza un Mini Computador, RaspBerry Pi 3, para implementar la etapa de comunicación inalámbrica, y también para obtener los datos a través de la pantalla táctil a la que se encuentra conectado. Ambos equipos se encuentran en comunicación constante para poder realizar el proceso de arenado de vidrio.

Implementación de la solución

El sistema de control del equipo, realiza la conexión entre todas las etapas. Este sistema permite leer los valores ingresados por el sistema Remoto y el control HMI. Así mismo, realiza el control de los variadores de velocidad de los motores, controlando el sentido de giro según el posicionamiento del motor durante el proceso de arenado y la lectura de los sensores de posición.

Ilustración 29. Componentes del Sistema de Control (Elaboración Propia)

Este sistema recibe mediante comunicación Serial la información de ingreso y realiza el control de la faja por la cual se transporta el vidrio, y también realiza el control de la posición de la pistola que realiza el arenado.

El sistema también recibe la alimentación del sistema y energiza a un microcontrolador encargado de realizar el proceso y también al sistema HMI que se encuentra implementado por una mini computadora.

Sistema de Control del equipo: Rasperry Pi 3 Modelo B

Para el presente proyecto, se requiere un sistema de control que permita comunicación serial con un microcontrolador el cual dispare los Relés para el control de los variadores de velocidad de la etapa de Potencia y también se requiere que sea capaz de poder implementar el control HMI del usuario, así mismo que permita el control remoto del equipo. Por esta razón, se requiere de hardware lo suficiente potente para cumplir con los requerimientos especificados. Sin embargo, se requiere que sea de bajo costo ya que es una de las características principales del proyecto. Por tanto, se eligió a uno de los equipos más cotizados del mercado actual en cuanto a implementación de proyectos electrónicos.

Raspberry es un computador de placa única y de bajo costo, este se desarrolló en el Reino Unido por la fundación Raspberry Pi.

El hardware es un producto con propiedad registrada, pero sí de uso libre para el nivel educativo o particular. En cambio, el software es Open Source, siendo su sistema operativo una versión adaptada de Debian (Raspbian), y además permite usar otro tipo de sistemas operativos que se acomoden al proyecto que se desea desarrollar.

En Raspberry es posible crear entornos gráficos que interactúan con objetos, permitiendo controlar motores o robots, y mediante una pantalla conectada por el puerto USB es posible crear entornos para controlar otros dispositivos, una librería que permite crear entornos gráficos es Node-Red.

Para el presente proyecto, se requiere un sistema de control que permita comunicación serial con un microcontrolador el cual dispare los Relés para el control de los variadores de velocidad de la etapa de Potencia y también se requiere que sea capaz de poder implementar el control HMI del usuario, así mismo que permita el control remoto del equipo. Por esta razón, se requiere de hardware lo suficiente potente para cumplir con los requerimientos especificados. Sin embargo, se requiere que sea de bajo costo ya que es una de las características principales del proyecto. Por tanto, se eligió a uno de los equipos más cotizados del mercado actual en cuanto a implementación de dispositivos electrónicos de bajo costo pero de alto rendimiento como es el Raspberry Pi 3.

Cabe mencionar, que se disponen de otros microprocesadores que pueden ser más robustos. Sin embargo, para este proyecto se consideró por factores económicos y por qué tiene alta disponibilidad en el mercado local lo cual permitiría un reemplazo rápido en caso de requerir el cambio.

Para el presente proyecto este dispositivo se encarga del control de un microcontrolador que activa y controla entradas y salidas digitales. Así mismo, también soportará el control HMI (control en pantalla táctil del equipo) y brindará acceso remoto a los usuarios para poder monitorear y controlar inalámbricamente desde su celular, Tablet o PC.

Ilustración 30. Etapas que se integran al sistema de Control (Elaboración Propia)

En el gráfico se muestra la conexión:

- Conector Micro Usb:

Se conecta a través de un cable micro Usb la alimentación del dispositivo. Esta conexión debe ser cinco (05 VDC) voltios y debe recibir (2.5 A) Amperes.

- Conector HDMI y Cable USB:

Mediante un cable HDMI y un cable USB, se conecta la pantalla táctil HDMI que permite realizar el control del equipo. El aplicativo está desarrollado y será ejecutado en el Raspberry Pi 3.

- Conexión Usb Serial:

Se conecta a través del puerto USB Serial un microcontrolador para poder controlar los variadores de velocidad y leer los valores de los sensores.

- **Conexión WIFI:**

Se habilita la conexión WIFI para poder establecer la conexión de los equipos remotos.

El aplicativo está desarrollado e implementado en el Raspberry pi 3 a través del Software Node Red.

Micro controlador: Arduino Nano

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones del Arduino Nano

Ilustración 31. Etapas integradas al Microcontrolador Arduino Nano (Elaboración Propia)

- **Conexión USB Serial:**

- Este dispositivo contiene un puerto micro Usb – Serial, por el cual se conecta con el Raspberry y se establece la comunicación Serial de 9600 Baudios con el Raspberry.
- El Arduino se alimenta por USB a través del voltaje emitido por el RaspBerry Pi 3.

- **Entradas y Salidas Digitales:**

- Se utilizan las entradas digitales a fin de leer los valores de los sensores de posición, para determinar la posición inicial y final del vidrio en la faja. Así mismo, se tiene el mismo funcionamiento para los sensores que indican el inicio y fin de carrera de la pistola de arenado.

- Se utilizan las salidas digitales para enviar los pulsos de control, a los variadores de velocidad de los motores.
- Se utilizan 04 pines de salida digital, que en una segunda etapa son convertidos a 24 VDC para ser conectados al variador de velocidad y controlar el sentido de giro de los motores.
- Pulso Reset:
- Se utiliza un pulso de reset, para poner los motores en Cero y detener el funcionamiento de todo el sistema. Con este botón de STOP se utiliza como botón de emergencia.

Ilustración 32. Diagrama de interconexión entre dispositivos de Control (Elaboración Propia)

Etapa de Potencia

Problema

¿Cómo se puede realizar la alimentación de los dispositivos considerando que se manejan distintos niveles de voltaje continuo?

Planteamiento de la solución

Para poder alimentar los dispositivos se debe tener en cuenta que se tienen partes que funcionan bajo 24 VDC y otros con 05 VDC.

La alimentación de todo el sistema, proviene de una conexión de 220 VAC que es transformada por una fuente a 24 VDC. Los sensores y actuadores del sistema de arenado funcionan a 24VDC.

Los dispositivos que componen el sistema propuesto, trabajan bajo 05 VDC, como son los microcontroladores. Para ello se requiere convertir el voltaje que se tiene de entrada en 24 VDC a 05 VDC. Así mismo, para las señales de salidas de micro controladores se requiere convertirlas nuevamente a 24 VDC.

Implementación de la solución

Este Sistema está comprendido por dos variadores de velocidad que se encargan de controlar el sentido de giro de dos motores, los cuales accionan la faja de movimiento del vidrio, y el otro eje del motor controla el movimiento de la pistola Arenadora.

Ilustración 33. Etapa de Potencia (Elaboración propia)

Para realizar el control de los componentes se tuvo que diseñar una tarjeta que sea capaz de integrar los dos dispositivos de control (Raspberry Pi 3 y el microcontrolador Arduino Nano) y al mismo tiempo puedan integrar los variadores de velocidad y leer los valores de los sensores.

Así mismo, se utilizó una tarjeta DC-DC para realizar la conversión del voltaje de 24 VDC de entrada y convertirlo a 05 VDC para alimentar los componentes.

Se utiliza un convertor DC/DC ya que el circuito se alimenta de 24VDC, y deben ser convertidos 05 VDC para alimentar todos los componentes electrónicos de control:

- Voltaje de Entrada: 24 VDC
- Voltaje de Salida: 05 VDC

Figura 2. Convertor de voltaje [18]

Figura 3. DC/DC Convertor[19]

Se utilizan los opto-copladores 4N35 para convertir las señales de lectura de 24 DVC a 05 VDC a fin de ser leídas por el Arduino Nano

Ilustración 34. Optocopladores para leer los sensores Ingreso

Ilustración 35. Diagrama en Eagle de Optocopladores

Se muestra la etapa de convertir las salidas digitales del microcontrolador a señales de 24 VDC para ser enviadas a los variadores de velocidad que controlan los motores.

Ilustración 36. Diseño electrónico para generar pulsos de Control para los variadores de Velocidad (Elaboración Propia)

Ilustración 37. Salidas Digitales de 24 VDC (Elaboración Propia)

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones y componentes utilizados para la elaboración de la tarjeta:

Ilustración 38. Diseño Final de la Tarjeta

Ilustración 39. Diseño Final de Tarjeta de Control (Elaboración Propia)

Motores a Controlar

Ambos motores a controlar correspondientes a la faja de desplazamiento de vidrio y la que realiza el desplazamiento de la pistola de arenado, tienen las siguientes características:

Ilustración 40. Placa de Motor a controlar (Elaboración Propia)

Etapa de Control de Posicionamiento de Motores y lectura de Sensores

Problema

¿Cómo se puede controlar el posicionamiento de la faja del motor y de la pistola de arenado? ¿Cómo se puede realizar el control de ambos motores de manera simultánea y sincronizada para lograr un arenado del vidrio de manera similar o mejor calidad que un sistema de arenado de fábrica?

Planteamiento de la solución

La ventaja del equipo, es que dispone de dos variadores de velocidad que son controlados por pulsos digitales de 24 VDC, así mismo, al equipo se tienen integrados sensores de posicionamiento para la faja de distribución del vidrio y la faja de posicionamiento de la pistola de arenado. Para estos componentes se requiere implementar un sistema de control que permita leer y procesar datos a la alta velocidad mientras se realiza el proceso de arenado.

Implementación de la solución

Se tienen 04 Sensores que permiten determinar el ingreso y salida del vidrio en la faja y también un sensor de inicio y fin de carrera para la pistola de Arenado:

Los motores se encargan de mover el vidrio accionando una faja transportadora y también se encargan de mover la pistola Arenadora de vidrio verticalmente. Estos variadores son controlados por el microcontrolador Arduino Nano.

A continuación, se muestra el desplazamiento del vidrio a través de la faja que es controlada por un motor:

El movimiento de la pistola Arenadora, se realiza a través de la acción realizada por el movimiento de un motor, que acciona unos engranajes y realizar el movimiento vertical de la pistola Arenadora.

A continuación, se muestran los datos de la placa de los motores:

ALREN THREE PHASE INDUCTION MOTOR (CE)						
ISO 9001 IEC 34 - 1			TEMPERATURE RISE B			
TYPE AL712-4			230 V Δ / 400 V Y 50Hz			
NO. 50543050	INS. CL F	S1	IP 55	kg		
V.	Hz	A.	KW	RPM	COS φ	
220-240 Δ / 380-420 Y	50	1.93/1.12	0.37	1370	0.74	
440-480 Y	60	1.15	0.44	1640	0.74	

Ambos motores son controlados por los variadores de velocidad. El sistema cuenta con los variadores de velocidad, cuya velocidad es variable y está conectada a dos potenciómetros. Para controlar el sentido de giro del motor, se utilizan dos entradas digitales que dispone que son FWD y RWD:

Ilustración 41. Variadores de Velocidad VAT20 U20N0K4S

Los variadores de velocidad se encargan de controlar los dos motores que tienen implementados la máquina de arenado. La velocidad de los variadores se controla mediante dos potenciómetros, los cuales no son regulados por el operador, lo que ocasiona que la velocidad de inicio sea constante.

Para controlar el sentido de giro de los motores, los variadores disponen de dos entradas digitales en las cuales se envía una señal High “1” y en el otro punto una señal Low “0” para hacer que el motor gire hacia un lado. Para el giro en el lado contrario, se envía una señal Low “0” y la otra señal “1”. Es decir, enviando dos pines digitales con “10” se tiene el sentido hacia un lado, y con “01” se invierte el giro del motor. Con la combinación “00”, es decir ambas señales en LOW los motores se apagan. No se puede ingresar la combinación “11” ya que el motor no realiza ninguna acción.

A continuación, se muestran los pines por los cuales los variadores reciben las señales de control de giro:

Ilustración 42. Se utilizan las entradas 3 y 4 para enviar los

VAT20 control circuitry terminal block (TM2) description			
Terminal symbol		Terminal function description	
1	TRIP	Fault relay output terminal	
2	RELAY	Connection point rated capacity 250VAC/1A (30VDC / 1A)	
3	FWD	Operation control terminals (refer to Fn_03)	
4	REV		
5	+ 12V	Common point of terminal 3 / 4 / 6 / 7	
6	SP1	Multifunction input terminals (refer to Fn_19)	
7	RESET		
8		+10V	Power terminal of potentiometer (Pin 3)
9		Analog input point	Analog frequency signal input terminal (Pin 2 of potentiometer or positive terminal of 0~10V / 4~20mA / 0~20mA)
10	0V (FM -)	Analog common point	Analog signal common point (Pin 1 of potentiometer or negative terminal of 0~10V / 4~20mA / 0~20mA)
11	FM+	Analog output positive connection point	Analog frequency signal output terminal Output terminal signal is 0 ~ 10VDC/Fn6

Ilustración 43. Descripción de Entradas y Salidas Variador de Velocidad

El posicionamiento de los motores, se realiza a través de la lectura de los encoders que tienen implementados ambos motores. Estas señales, se leen a través del microcontrolador quien convierte las revoluciones del motor, en la distancia de avance de la faja.

Los motores cuentan con los siguientes encoders:

Ilustración 44. Encoder Johner (Elaboración Propia)

El posicionamiento de los motores, se realizará en base a la lectura de encoders, lo cual permite determinar el avance del motor y obtener una relación por cada vuelta que realiza el motor y determinar cuántos milímetros se avanza en la faja:

Ilustración 45. Conexiones a realizar para leer los encoders

A continuación, se muestran los datos del Encoder utilizado por cada motor.

Ilustración 46. Encoder Marca Hohner (Elaboración Propia)

Características técnicas del producto:

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Materiales	Tapa: Plástico Cuerpo: Aluminio Eje: Acero inoxidable
Rodamientos	De bolas
Vida de los rodamientos	1x10 ¹⁰ rev.
Nº máx. rev. permisible mecánicamente	5000 rpm
Protección contra polvo y salpicaduras según DIN EN 60529	IP41
Momento de inercia del rotor	10 gcm ²
Par de arranque a 20°C (68°F)	≤ 0,004 Nm
Carga máxima admisible sobre eje axial	5 N
Carga máxima admisible sobre eje radial	5 N
Peso aprox.	0,2 Kg
Rango de temperatura en funcionamiento	-20°C a +60°C
Vibración según DIN EN 60068-2-6	100 m/s ² (10Hz...2000Hz)
Impacto según DIN EN 60068-2-27	1000 m/s ² (6ms)
Nº máximo de Impulsos por vuelta	500
Conexión axial	Cable 1 metro (otras longitudes de cable o conector industrial aéreo sobre pedido)

Ilustración 47. Características Mecánicas del Encoder - (Datasheet del producto)

Los motores, tienen encoders los cuales permiten conocer el avance de la faja o de la pistola en cada vuelta que realiza el eje del motor:

Ilustración 48. Señales de Salida de los Encoders

Se ha realizado la lectura de los Encoders, a través de los pines digitales del microcontrolador, en el cual interpretando el tiempo del ancho de pulso, se está determinando el avance en centímetros de la faja y de la pistola. Así mismo, se encontró la relación entre ambas variables a través de las formulas mostradas en el Capítulo dos (02 sobre la relación entre el peso del vidrio y el movimiento de la faja y se evidencia que no hay variación en el movimiento ante diferentes pesos de vidrio.

Cada Pulso, se determina que la faja avanza 4.5 mm con lo cual se puede procesar en el microcontrolador y saber la cantidad de vidrio que ha sido arenado. En el capítulo cuatro (04) se describe como se realiza el procesamiento de este valor y se va acumulando para conocer la cantidad de milímetros que avanza la faja y la pistola desde cada pulso de control.

Comentarios Finales

- Se han implementado e integrado etapas de Hardware con el fin de establecer una comunicación fluida y control entre los dispositivos integrados al proyecto.
- Se decidió utilizar dos dispositivos de control como el Arduino Nano y el Raspberry Pi con el fin de que la carga completa no sea asumida por un solo equipo, si no que se aproveche las características de cada uno y pueda conseguir una sola solución integral de control de todos dispositivos involucrados de entradas y salidas de señales.
- En el caso del Raspberry Pi se integran las etapas de diseño de interfaz visual y de control del proyecto. También se implementa el control mediante un dirección IP Local que permite la conexión de diversos dispositivos para monitoreo y control. Realizar esta labor en un arduino, requiere de componentes adicionales montados al arduino y de carga de librerías que consumen gran capacidad de procesamiento por lo que no es recomendable realizarlo en este controlador.
- En el caso de Arduino, se realiza la lectura de señales de entrada de 05 VDC y se disparan entradas de 05 VDC a Relays de control, lo cual permite tener la lectura completa de los sensores, encoder y mediante las salidas controlar los variadores de los motores eficazmente.
- Ambos dispositivos se comunican por comunicación serial permitiendo llevar un control rápido y adecuado del proceso a todo nivel.
- Se pueden utilizar otros dispositivos más complejos que integren todas las características mencionadas anteriormente. Sin embargo, aumentaría el costo de producción lo cual no es uno de los objetivos del proyecto.

Capítulo 4: Descripción del Software Propuesto

Introducción

A continuación, se va a describir la implementación del software comenzando por una breve descripción del diagrama de bloques general para luego describir las partes o etapas que lo conforman:

Ilustración 49. Diagrama de Bloques de componentes a Nivel de Software (Elaboración propia)

Para el presente capítulo se va a describir como se ha programado y diseñado la comunicación a nivel de Software de las interfaces implementadas en el proyecto.

Así mismo, se dará mayor detalle de la interconexión de los componentes en las dos etapas principales generales del proyecto, las cuales son:

- Sistema de Control HMI
- Sistema de Procesamiento de Control de Entradas y Salidas Digitales.

Sistema de Control HMI

Problema

¿Cómo se pueden ingresar y procesar los datos en una interfaz de manera eficaz y sencilla de manera táctil o remota?

Planteamiento de la solución

En esta etapa, se requiere que el control del equipo y los parámetros de ingreso para el mismo, sean registrados de una manera sencilla para el operario. En cuanto, al rendimiento del equipo, se busca que esta etapa no consuma demasiados recursos de memoria y procesamiento. Por lo tanto, se eligió implementarlo sobre el RaspBerry pi 3 por su alta eficacia sobre estos trabajos y también por las ventajas que tiene sobre otros dispositivos. De la misma manera, se implementa el control Web.

Con el uso del RaspBerry Pi 3 se busca que sobre él pueda correr un programa capaz de permitir el ingreso de datos y enviarlos al dispositivo que se encargue de procesar y establecer los parámetros de control para el arenado del vidrio.

A fin de optimizar los recursos, se utiliza una librería del RaspBerry Pi 3 llamada Node Red y sobre ella se implementa el sistema HMI para el ingreso y muestra del proceso que se está ejecutando en el equipo.

Implementación de la solución

Control Gráfico del Sistema:

El control, se ha implementado y programado sobre el Rasperry Pi 3 utilizando la librería Node Red.

Ilustración 50. Control Grafico y Táctil del Equipo. Diseñado en Node Red

- Node Red:

Node-RED es una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea de maneras nuevas e interesantes. Se realiza programando la librería en un aplicativo que corre sobre el Raspberry Pi 3.

Esta herramienta proporciona un editor basado en navegador que facilita el cableado de flujos utilizando la amplia gama de nodos de la paleta que se puede implementar en su tiempo de ejecución sencillamente.

Node-RED proporciona un editor de flujo basado en navegador que facilita el cableado de flujos utilizando la amplia gama de nodos en la paleta. Los flujos se pueden implementar en el tiempo de ejecución con un solo clic.

Las funciones de JavaScript se pueden crear dentro del editor usando un editor de texto enriquecido. Lo cual permite realizar la programación a través de diagramas de bloques y no tener la necesidad programar en Python. Este último punto, es ventajoso ya que permite ahorrar recursos de procesamiento y tiempo de desarrollo.

En esta herramienta, se ha implementado el sistema de control del equipo. Se han definido los dos modos de operación del equipo:

- Control Manual:
 - Permite que el operador pueda accionar la faja y la pistola Arenadora directamente, a través de los siguientes movimientos:

Arriba: Sube la pistola para arenado

Baja: Baja la pistola para arenado

Derecha: Desplaza el vidrio hacia adelante

Izquierda: Retrocede el vidrio mediante la faja

- Control Automático:
 - Este modo, solo requiere que el operador ingrese las medidas del vidrio que se va arenar y mediante un sólo botón se realiza la secuencia de arenado completa.

Ambos modos fueron coordinados con el operador del equipo, quien explicó su necesidad al tener los mismos controles que venían en el sistema de control de fábrica.

Con esta librería, se programaron las pantallas de control para ambos modos de operación.

Así mismo, los valores ingresados de manera táctil o de manera remota mediante una dirección IP local, son almacenados para posterior procesamiento de la información.

Estas variables permiten que la otra etapa de procesamiento de entradas y salidas digitales, pueda realizar el control del equipo, tomando como referencia los valores de desplazamiento que fueron ingresados en esta etapa. Es decir, el Raspberry lee, procesa y envía los valores que establecen los límites de desplazamiento de los motores y también comanda al siguiente sistema.

A continuación, se muestra el diagrama lógico de la programación en Node Red:

El diagrama de bloques, se programa de la siguiente manera:

Permitiendo que el sistema de control para el usuario, se muestre de la siguiente manera:

Esta herramienta permite implementar los modos de control fácilmente, y permite que el usuario pueda ingresar y controlar el equipo desde su celular o a través de la pantalla táctil

lo cual es más eficiente que el sistema de control de Fábrica que se realizaba mediante pulsadores.

Conclusiones

- Mediante el Node Red se logra que la interfaz de control del equipo sea implementada en el equipo de una manera sencilla y eficiente. Esto debido a que se utilizan librerías propias del RaspBerry Pi 3 y no se consumen recursos adicionales de procesamiento y memoria.
- Así mismo, esta herramienta permite explotar la interfaz gráfica que se puede implementar y también controlar debido a la pantalla táctil que se coloca para proyecto, lo cual es ventajoso ya que además de permitir mostrar los controles de manera amigable permite un control orientado a reducir el error de ingreso de parámetros.
- Esta librería también permite crear una dirección web Local que permite que el equipo pueda ser controlador remotamente por un celular, Tablet o PC/laptop conectado a la red, lo cual es eficiente para los usos que se le pueden dar al equipo.
- Para que el Node Red pueda ser utilizado en el RaspBerry no se requiere instalar Hardware adicional. La programación de la herramienta es sencilla ya que se utilizan bloques de programaciones ya predefinidas y solo deben interconectarse entre sí, siguiendo un esquema lógico de programación secuencial.
- La librería Node Red no tiene costo alguno debido a que es Open Source, es decir, de código abierto. Lo cual es ventajoso ya que diariamente se publican nuevas actualizaciones que en un corto plazo podría traer mejoras significativas a lo que ya se tiene implementado en el proyecto, por ejemplo, un indicador grafico que varíen con el tiempo.

Sistema de Procesamiento y Control de Entradas/Salidas Digitales

Problema

¿Cómo se puede procesar los datos ingresados por el usuario, y realizar el control del proceso de arenado a partir de la lectura de los sensores y emitir órdenes para los motores?

Planteamiento de la solución

Se deben enviar pulsos de control a los dos variadores de velocidad, estas órdenes deben depender de las lecturas de posicionamiento de los motores. Para ello se definen variables de control que van almacenando el desplazamiento en centímetros de la faja de distribución del vidrio y de la faja de posicionamiento de la pistola de arenado.

Implementación de la solución

En esta etapa, se ha utilizado un microcontrolador Arduino Nano para procesar la información recibida por comunicación serial enviada por el RaspBerry Pi 3. La función del Arduino es controlar a través de sus pines digitales a los variadores de velocidad y también mediante sus entradas digitales leer la información de los sensores de posición. Así mismo, controla el movimiento de la faja y de la pistola interpretando la información recibida por los Encoders.

La programación del microcontrolador se ha realizado considerando que debe comunicarse con los siguientes componentes:

- Criterios de Diseño
 - El microcontrolador debe recibir por comunicación serial las órdenes según el modo de Operación
 - Debe identificar si el usuario está usando el modo manual o el modo automático
 - Para realizar la identificación lee una trama de caracteres e interpreta cada valor recibido

- En el caso del modo de operación automático, el microcontrolador debe ser capaz de convertir las medidas del vidrio recibidas en texto a número para realizar el procesamiento y control de los variadores de velocidad.
- Debe interpretar la lectura de los Encoders para determinar cuánto avanzó la faja y la pistola a fin de controlar automáticamente todo el proceso de arenado.
- En el caso de operación manual, el microcontrolador debe interpretar las órdenes:

Izquierda

Derecha

Arriba

Abajo

Para

- El microcontrolador luego de interpretar la información recibida debe enviar 04 pulsos digitales que serán convertidos a 24 VDC para el control de los variadores de velocidad.

Izquierda – PIN 2: “0” – PIN 3: ”1”

Derecha – PIN 2: “1” – PIN 3: ”0”

Arriba – PIN 4: “0” – PIN 5: ”1”

Abajo – PIN 4: “0” – PIN 5: ”1”

Diagrama de Bloques de componentes a controlar:

Figura 4. Componentes considerados para la programación

Diagrama de programación Microcontrolador:

Figura 5. Diagrama de Programación Arduino Nano

Comentarios Finales

- Para esta etapa se han programado dos microcontroladores como el RaspBerry pi 3 y el Arduino Nano, los cuales se comunican vía comunicación Serial de 9600 baudios, lo que permite una comunicación fluida entre la etapa de control y de potencia del proyecto.
- En el RaspBerry se utilizó la librería Node Red para implementar el sistema de control del equipo vía Web y también para mostrar los datos en la pantalla HDMI.
- En el arduino, se integra la lectura de los sensores y el control de los variadores de velocidad mediante señales digitales que disparan a los Relays.
- Esta etapa permite el control de todo el proyecto y fue probada simulando diferentes escenarios donde se afinaba la programación de los dispositivos.

Ilustración 51. Diagrama de bloques a Nivel de Software

Capítulo 5: Pruebas Experimentales y Resultados de Validación

Introducción

El sistema de control fue diseñado y programado en base a una máquina en específico, la cual es maquina arenadora de vidrio industrial glasstek x20. Sin embargo, debe considerarse que el sistema de funcionamiento y las etapas que componen este equipo son similares a otros modelos y marcas de estos equipos.

El control del equipo debe ser capaz de permitir un control dinámico del equipo, que no sea complejo en su operación. Para ello se requiere probar que la configuración de todos los parámetros sea realizada en la planta y con el personal operativo.

El arenado del vidrio debe tener la misma o mejor calidad que el proceso de arenado con el sistema de control original, por ello se realizaron diferentes pruebas para asegurar que el funcionamiento del proyecto es el adecuado.

El sistema de configuración y funcionamiento debe ser transmitido al personal operador y debe ser menos o igual de complejo que la configuración de un sistema de arenado de fábrica. Para lograr ello se preparó un manual de operación del equipo, el cual también es detallado como parte de este capítulo.

Manual de Operación del Equipo

A fin de demostrar la operación del equipo y las consideraciones que se deben tener para las pruebas se detalla el manual de operación del equipo:

Ilustración 52. Manual de Operación del Equipo

Ilustración 53. Manual de Operación: Modos de Operación

Ingresa el vidrio a la faja

- Paso 01: Ingresa el vidrio a la faja.

Ilustración 54 Manual de Operación: Paso 01

Modo de Operación Manual

MANUAL

- Paso 1: Ingresa al modo de operación Manual y active los botones para el control de la faja y la pistola de arenado.

!En caso de emergencia: Presione manualmente RESET!

Ilustración 55 Manual de Operación: Modo Manual

Ilustración 56 Manual de Operación: Modo Automático

Ilustración 57 Manual de Operación: Ingreso de parámetros

Modo de Operación Automático

- ▶ Paso 2: Luego de ingresar los valores presione EJECUTAR
- ▶ Paso 3: Al terminar el proceso, retire el vidrio de la Faja.

Ilustración 58. Manual de Operación: Proceso

Soporte

- ▶ Para cualquier consulta sobre el soporte y manejo de la máquina por favor contactar a:

- ▶ Alberto Vargas - u610598@upc.edu.pe - Cel: 989001753
- ▶ Rene Canaza - u520225@upc.edu.pe - Cel: 982523504

Ilustración 59. Manual de Operación: Soporte técnico del equipo

Pruebas de validación en condiciones reales de operación

Se realizaron las pruebas considerando las siguientes variables:

- Las medidas del vidrio TIPO 1 son 50 cm x 40 cm
- Las medidas del vidrio TIPO 2 son 30 cm x 60 cm
- La configuración de los parámetros se realizó mediante el personal operativo de la planta
- Se validaron los modos de operación manual y automático.
- Las pruebas y los resultados fueron apuntados en una carta validada por el Gerente de la empresa quien estuvo presente en las pruebas realizadas.

Pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 30 x 60 cm (tipo 2):

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
1	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
2	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
3	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
4	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
5	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
6	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
7	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
8	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
9	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
10	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
11	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
12	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
13	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
14	Modo	60 cm x 60 cm	Exitoso

Nº Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
	Automático		
15	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
16	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
17	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
18	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
19	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
20	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
21	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
22	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
23	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
24	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
25	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
26	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
27	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
28	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
29	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
30	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —

Pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 50 x 70 cm (tipo 1):

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
1	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
2	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
3	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
4	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
5	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
6	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
7	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
8	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
9	Modo	50 cm x 40 cm	Exitoso

N ^a Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
	Automático		
10	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
11	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
12	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
13	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
14	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
15	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
16	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
17	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso – Compresora Apagada
18	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso – Compresora Apagada

Nº Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
19	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada
20	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada
21	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
22	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
23	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
24	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
25	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
26	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
27	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
28	Modo	60 cm x 60 cm	Exitoso

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
	Automático		
29	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
30	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso

Pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 30 x 60 cm (tipo 2):

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
1	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
2	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
3	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
4	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
5	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
6	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
7	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
8	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
9	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
10	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
11	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
12	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
13	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
14	Modo	60 cm x 60 cm	Exitoso

Nº Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
	Automático		
15	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
16	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
17	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
18	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
19	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
20	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
21	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
22	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
23	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
24	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
25	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
26	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
27	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
28	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
29	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
30	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —

Pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 50 x 70 cm (tipo 1):

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
1	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
2	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
3	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
4	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
5	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
6	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
7	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
8	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
9	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
10	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
11	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
12	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
13	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
14	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
15	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
16	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso

Nº Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
17	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
18	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
19	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
20	Modo Automático	Sin vidrio	Exitoso Compresora Apagada —
21	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso
22	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
23	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
24	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
25	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso

Nª Prueba	Modo de Prueba	Tamaño de Vidrio	Resultado Arenado
26	Modo Automático	50 cm x 40 cm	Exitoso
27	Modo Automático	60 cm x 60 cm	No Exitoso – Vidrio arenado al 90%
28	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
29	Modo Automático	60 cm x 60 cm	Exitoso
30	Modo Manual	50 cm x 40 cm	Exitoso

Valuación de Resultados obtenidos

Los resultados finales fueron evaluados por el operador y jefe de la planta, de acuerdo a las tablas mostradas anteriormente, capítulo 5.3, las que cuentan con la observación de exitosa son las que cuentan con la calidad necesaria para poder ser comercializadas; tener en cuenta que la empresa depende mucho de la calidad de este producto, porque el negocio gira entorno a este producto, por lo que el operador y jefe de planta tuvieron especial cuidado en el resultado.

El documento que avala los resultados mostrados en las tablas anteriores del capítulo 5.3 se encuentra en los anexos, dando conformidad, satisfacción de los resultados.

Capítulo 6: Conclusiones y Comentarios:

Introducción

A continuación se describirán los problemas encontrados a lo largo del desarrollo del proyecto, también se describirán las soluciones, propuestas, hipótesis y logros para resolver los problemas encontrados.

Cuadro de Costos

Se adjunta el cuadro de costos del proyecto y el comparativo con adquirir un sistema de control nuevo de fábrica:

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio Unitario (Soles)</i>	<i>Costo Parcial (Soles)</i>	<i>Comentarios</i>
<i>Arduino Nano</i>	Microcontrolador	01	Und.	S/30.00	S/30.00	Se utilizarán para ingresar y procesar los datos de tiempo y medidas del vidrio en el proceso de arenado.
<i>Raspberry Pi 3 y Pantalla Touch Screen</i>	Mini Computadora	01	Und.	S/400.00	S/400.00	Se utilizará por su potencia para implementar el control HMI y comunicarte con el control de los motores y la compresora de arenado-

<i>Conversor DC/DC</i>	Conversor de Voltaje 24Vdc/05Vdc	01	Und.	S/.30.00	S/.30.00	Regulador de Voltaje de 24VDC a 05 VDC
<i>Otros componentes</i>	Reles y Optocopladores	08	Und.	S/22.50	S/.180.00	Otros componentes electrónicos para trabajar con 24 VDC y 05 VDC
Costo Total (Soles) S/.					S/.640.00	

Tabla 6. Costo de Implementación de Proyecto

Sistema de Control de Fábrica (Incluye gastos de importación, demora 45 días)	\$ 8000.00
Sistema Alternativo, con un margen de utilidad de 30%	\$250.00

Tabla 7. Cuadro comparativo de Costos

Cumplimiento de los objetivos planteados

Objetivo General

Se diseñó e implementó un sistema de control alternativo para el equipo de la Marca Glastek modelo XS20. El cual ofrece sistema control de arenado que permita generar una alta disponibilidad para el equipo a un costo de producción muy inferior al disponible actualmente. Este sistema de control puede ser adaptado a otros equipos de arenado al tener el mismo proceso. Se realizaron pruebas de validación con el Gerente de la empresa Varsa SA de manera satisfactoria.

Objetivos Específicos

- Se realizó la Implementación de un circuito eléctrico – electrónico que permita dar órdenes a los variadores de velocidad. Se diseñó e implementó una Tarjeta de Control de variadores de velocidad, por medio de señales digitales de 24 VDC que ingresan a las entradas FWD y RWD de los variadores de velocidad. La cual está basada en un microcontrolador Arduino Nano, que mediante la lectura de los pines digitales se pueden leer los sensores de posición y por comunicación serial interpreta las órdenes del Raspberry Pi 3, controlando los variadores de velocidad mediante las salidas digitales del microcontrolador.
- Se culminó la programación de un sistema HMI táctil que permita ingresar y mostrar los datos ingresados por el operario del sistema. Mediante la librería Node-Red, se implementó un sistema HMI que permita ingresar los parámetros necesarios para iniciar con el proceso como son los datos de largo y ancho del vidrio, los cuales son enviados a la etapa de control. Esta plataforma corre sobre el Raspberry Pi 3 y permite que se pueda realizar el control inalámbricamente en un dispositivo móvil conectado a la red y también se puede realizar el control en la pantalla táctil del equipo.
- Se ejecutó la programación de un microcontrolador capaz de leer la información recibida por los Encoders de cada motor a fin de determinar la distancia recorrida por la pistola y por la faja que mueve el vidrio. Para realizar la lectura de los Encoders se utilizaron dos pines digitales del Microcontrolador Arduino Nano. Este microcontrolador es capaz de leer los encoders para determinar el avance de los motores según los parámetros de ingreso y con ello realizar la secuencia de arenado automáticamente. Cada vuelta realizada por el motor, envía un pulso que lee el microcontrolador y equivale a 04.5 mm de avance.
- En la plataforma Node-Red, se implementó un control Web que permite la verificación remota de funcionamiento del equipo. El Sistema Web tiene una dirección IP local que permite monitorear el proceso remotamente a los usuarios conectados a la Red Local.
- Las dimensiones físicas de la tarjeta de control y de HMI u otro como componente donde se pueda dimensionar, se encuentran dentro del gabinete diseñado por el fabricante junto a los demás componentes electrónicos del equipo. Es decir, el sistema se encuentra colocado dentro del gabinete donde se encuentran los demás dispositivos

electrónicos, a fin de que se encuentren protegidos de manipulación de terceros y contaminación del ambiente.

- Se implementó un sistema de control alternativo que tiene las mismas y mejores funcionalidades que el sistema de control de fábrica.
- Se realizaron pruebas de arenado, en diferentes condiciones operacionales, de manera satisfactoria.
- Se probó que el sistema de arenado responde de manera a las ordenes dadas por los dispositivos móviles.
- Así mismo, el control táctil tiene un tiempo de respuesta adecuado para asegurar la correcta operación del equipo.

Conclusiones generales

- Se concluye que la elaboración de este sistema de control podrá aumentar y dar mayor confianza en la adquisición de estas máquinas, con lo cual se mejorará la competitividad en las empresas que se dedican al rubro de la vidriería.
- Considerando que puede utilizarse como un sistema de control de reemplazo a un costo inferior al ofrecido por el fabricante el cual tiene costos elevados. Una máquina nueva puede costar más de \$20,000.00 dólares más los costos de importación.
- Además, el diseño de este sistema de control abre las puertas para poder aumentar el mercado de las máquinas arenadoras para ser usadas en otros rubros. Además, que, al controlar el proceso de arenado, se pueden trabajar en nuevos sistemas de arenado más personalizados según los requerimientos de los fabricantes.

Recomendaciones para trabajos futuros.

- Se recomienda probar el sistema de arenado, en máquinas de otros fabricantes ya que el modo de operación es similar. Sin embargo, el modelo del variador de velocidad puede variar.
- Se recomienda el mantenimiento de los engranajes de la faja y del sistema de movimiento de la pistola Arenadora a fin de garantizar la correcta operatividad del equipo.

- Para futuros proyectos, se puede implementar un sistema de video que permita mostrar la operación del equipo y el resultado del arenado del vidrio para supervisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gilbarbara. (2015). *Maquinarias Gilbarbara*, 1. (Gilbarbara S.R.L) Recuperado el 2017 de 10 de 01, de <http://www.gilbarbara.com.ar/fratelli.html>

Industry, D. (2015). *Arenadora estacionaria automática SV6 de ABSHOT*. Obtenido de <http://trends.directindustry.es/ab-shot-tecnics/project-103523-125325.html>

Rogers, D. (2011). *Inventions and their inventors 1750-1920*. NY: M-Y Books, .

S.L., A. T. (2016). *Catalogo de Productos*. Obtenido de <https://abshot.es/es/producto/venta-de-arenadoras-estandar/sv3000-con-plc.html>

ANEXOS

Anexo 01: Código de Programa

Código de Programa:

Código de Programa Arduino:

//ENTRADAS:

int input1=2;//Encoder horizontal

int input2=3;//Encoder vertical

int input3=4;//Sensor inicio

int input4=5;//Sensor abajo

int input5=A4;

int input6=19;//selector = A5

```
int input7=A6;//ON/Off
```

```
int inputA1=5;
```

```
int inputB1=4;
```

```
int inputA2=3;
```

```
int inputB2=2;
```

```
//SALIDAS:
```

```
int out1=13;//A1
```

```
int out2=12;//A2
```

```
int out3=11;//A3
```

```
int out4=10;//A6
```

```
int out5=9;//A7
```

```
int out6=8;
```

```
int out7=7;
```

```
int out8=6;
```

```
//Sensores
```

```
int sensorInicio=0;
```

```
int sensorFinal=0;
```

```
int sensorAbajo=0;
```

```
int sensorArriba=0;
```

```
int selector=0;
```

```
float convert=0.00;
```

```
int cuenta=0;
```

```
int cuenta1=0;
```

```

int cuenta2=0;

byte data_update_event=1;//New data flag


//

int dist_Zero = 480;

int dist_Avance = 20;

int dist_Inicio = 600;

int dist_Superior = 500;

int dist_Inferior = 0;

int inicio = 0;


void setup()

{

    Serial.begin(9600);

    for(int x=2; x<6; x++){pinMode(x,INPUT);}

    pinMode(input6,INPUT);//A5 Selector

    pinMode(out1,OUTPUT);pinMode(out2,OUTPUT);

    pinMode(out3,OUTPUT);pinMode(out4,OUTPUT);

    pinMode(out5,OUTPUT);pinMode(out6,OUTPUT);

    pinMode(out7,OUTPUT);pinMode(out8,OUTPUT);

    digitalWrite(out1,LOW);digitalWrite(out2,LOW);

    digitalWrite(out3,LOW);digitalWrite(out4,LOW);

    digitalWrite(out5,LOW);digitalWrite(out6,LOW);

    digitalWrite(out7,LOW);digitalWrite(out8,LOW);


    attachInterrupt(0, Encoder_Horizontal, RISING); //Encoder horizontal

```

```

attachInterrupt(1, Encoder_Vertical, RISING); //Encoder vertical

}

void loop()

{

    selector=digitalRead(input6);//A5

    while(selector == HIGH)

    {

        Lectura_Serial();

        selector=digitalRead(input6);//A5

    }

    Stop();

}

void Motor_Derecha()

{

    Serial.println("MOTOR DERECHA");

    Stop(); //apagar los motores antes de conectar

    digitalWrite(out1,HIGH); //FWD

    digitalWrite(out2,LOW); //REV

    sensorFinal=digitalRead(input5);

    while(sensorFinal == LOW)

    {

        sensorFinal=digitalRead(input5);

        Lectura_Serial();

    }

```

```

//Stop();

}

void Motor_Izquierda()

{

Serial.println("MOTOR IZQUIERDA");

Stop(); //apagar los motores antes de conectar

digitalWrite(out1,LOW); //FWD

digitalWrite(out2,HIGH); //REV

while(cuenta == 0)

{

Lectura_Serial();

}

Stop();

}

```

```

void Motor_Subir()

{

Serial.println("MOTOR SUBIENDO");

Stop(); //apagar los motores antes de conectar

digitalWrite(out3,HIGH); //FWD

digitalWrite(out4,LOW); //REV

sensorArriba=digitalRead(input3);

```

```

while(sensorArriba == LOW)

{

    sensorArriba=digitalRead(input3);

    Lectura_Serial();

}

//Stop();

}


void Motor_Bajar()

{

    Serial.println("MOTOR BAJANDO");

    Stop(); //apagar los motores antes de conectar

    digitalWrite(out3,LOW); //FWD

    digitalWrite(out4,HIGH); //REV

    sensorAbajo=digitalRead(input4);

    while(sensorAbajo == LOW)

    {

        sensorAbajo=digitalRead(input4);

        Lectura_Serial();

    }

    Stop();

}


void Stop()

{

```

```

//Serial.println("Apagar los motores");

digitalWrite(out1,LOW); //giro --> desactivado

digitalWrite(out2,LOW); //giro <-- desactivado

digitalWrite(out3,LOW); //Desactivar contacto KM2

digitalWrite(out4,LOW); //Desactivar contacto KM3

digitalWrite(out5,LOW); //Desactivar motor horizontal

digitalWrite(out6,LOW); //Desactivar motor vertical

digitalWrite(out7,LOW); //Desactivar motor horizontal

digitalWrite(out8,LOW); //Desactivar motor vertical

delay(500);

}

void LecturaDatos()//13

{

Serial.print("Inicio: "); Serial.print(inicio);Serial.print("\t");

Serial.print("Dist Avance: "); Serial.print(dist_Avance);Serial.print("\t");

Serial.print("Dist Inicio: : "); Serial.print(dist_Inicio);Serial.print("\t");

Serial.print("Dist Superior: "); Serial.print(dist_Superior);Serial.print("\t");

Serial.print("Dist Inferior: "); Serial.print(dist_Inferior);Serial.print("\t");

Serial.print("\n");

delay(500);

}

void Leer_Sensores()

```



```

{

    sensorAbajo=digitalRead(input2);

    sensorArriba=digitalRead(input3);

    sensorInicio=digitalRead(input4);

    sensorFinal=digitalRead(input5);

    Serial.print(inicio);Serial.print(",");

    Serial.print(sensorInicio);Serial.print(",");

    Serial.print(sensorFinal);Serial.print(",");

    Serial.print(sensorAbajo);Serial.print(",");

    Serial.print(sensorArriba);Serial.print("\n");

    delay(100);

}

```

```

void Encoder_Horizontal()

```

```

{

    cuenta1++;

}

```

```

void Encoder_Vertical()

```

```

{

    cuenta2++;

}

```

```

void decode(void)

```

```

{

    static char buffer[500]; //The traditional SERIAL buffer.

```

```

static int counter=0; //Traditional counter

while(Serial.available() > 0) //Check and loop while any byte is in the Serial Buffer.

{

    buffer[counter]=Serial.read();//Reading the byte

    if(buffer[counter]!='\n')//0x0A Looks for \F, if not jump and continue receveing.

    {

        if (strcmp (buffer,"#TEL:",5) == 0) //Looks for the !!! header

        {

            //TEL:A1,B20,C500,D600,E10

            inicio=Search_Int(buffer,"A"); //Valor de la Palabra 1

            dist_Inicio=Search_Int(buffer,"B"); //Valor de la Palabra 5

            dist_Avance=Search_Int(buffer,"C"); //Valor de la Palabra 4

            dist_Superior=Search_Int(buffer,"D"); //Valor de la Palabra 6

            dist_Inferior=Search_Int(buffer,"F"); //Valor de la Palabra 7

            data_update_event|=0x01; //This is a manual flag to indicate new data has arrived.

        }

        for(int a=0; a<=counter; a++)//restarting the buffer

        {

            buffer[a]=0; //Clearing the buffer.

        }
    }
}

```

```

        counter=0; //Restarting the counter.

    }

    else

    {

        counter++; //Incrementing the counter

    }


    if(counter >= 250)

    {

        for(int a=0; a<=counter; a++) //restarting the buffer

        {

            buffer[a]=0; //Clearing the buffer.

        }

        counter=0; //Restarting the counter.

        break;

    }

}

//

}

float Search_Float(char buffer[],char looking[])

{

    char *BufferPointer=buffer;

    char *SearchString;

    SearchString= strstr (BufferPointer,looking);

    return atof(SearchString+1);

```

```
}
```

```
int Search_Int(char buffer[],char looking[])
```

```
{
```

```
char *BufferPointer=buffer;
```

```
char *SearchString;
```

```
SearchString= strstr (BufferPointer,looking);
```

```
return atoi(SearchString+1);
```

```
}
```

```
long Search_Long(char buffer[],char looking[])
```

```
{
```

```
char *BufferPointer=buffer;
```

```
char *SearchString;
```

```
SearchString= strstr (BufferPointer,looking);
```

```
return atol(SearchString+1);
```

```
}
```

```
void Lectura_Serial()
```

```
{
```

```
decode(); //Decoding data coming from GCS
```

```
if((data_update_event&0x01)==0x01)
```

```
{
```

```
data_update_event=0;
```

```
switch (inicio)
```

```
{
```

```
case 0:{Stop();break;}
```

```

    case 1:{Motor_Subir();break;}

    case 2:{Motor_Bajar();break;}

    case 3:{Motor_Derecha();break;}

    case 4:{Motor_Izquierda();break;}

    case 5:{Start();break;}

    default;break;

    }

}

}

void Start()

{

//Alimentar motor verticla a subir

Stop(); //apagar los motores antes de conectar

Posicion_Zero();//Coloca los pistola en la posicion zero

Posicion_Inicio();

Distancia_Inicio();//Coloca el vidrio en la posicion inicio para arenar

Secuencia1();//Secuencia de arenado hasta que detecte el final del vidrio

Secuencia2();//terminar de arenar la distancia restante

Salida();//Retirar el vidrio hasta el final de la faja

Stop();//Apagar todo

}

void Posicion_Zero()

{

Stop(); //apagar los motores antes de conectar

digitalWrite(out3,LOW); //FWD subir

```

```

digitalWrite(out4,HIGH); //REV bajar

sensorAbajo=digitalRead(input4);//D4

while(sensorAbajo == LOW)

{

    sensorAbajo=digitalRead(input4);

}

Stop();

}

void Posicion_Inicio()

{

Serial.print("POSICION INICIO: ");Serial.println(dist_Inferior);

convert = dist_Inferior;

attachInterrupt(1, Encoder_Vertical, RISING); //Encoder horizontal

cuenta2 = 0;

while(cuenta2 <= convert)

{

digitalWrite(out3,HIGH); //FWD subir

digitalWrite(out4,LOW); //REV bajar

}

digitalWrite(out3,LOW); //Apago motor vertical

Serial.print(dist_Inferior);Serial.print("\t");Serial.print(cuenta2);

Serial.print("\t");Serial.println(convert);

detachInterrupt(1);//desabilito interrupciones encoder horizontal

}

```

```

//1pulso = 4.5mm

//600mm= 600/4.5=133.3

void Distancia_Inicio()

{

  Serial.println("MOTOR EN ESPERA SENSOR INICIO");

  sensorInicio=digitalRead(input3);//D4

  while(sensorInicio == LOW)

  {

    digitalWrite(out1,HIGH); //FWD

    digitalWrite(out2,LOW); //REV

    sensorInicio=digitalRead(input3);

  }

  Stop();

  Serial.print("ENCODER HORIZONTAL: ");Serial.println(dist_Inicio);


  //convert = dist_Inicio/4.50;

  convert = dist_Inicio*2.45;

  attachInterrupt(0, Encoder_Horizontal, RISING); //Encoder horizontal

  cuenta1 = 0;

  while(cuenta1 <= convert)

  {

    digitalWrite(out1,HIGH); //FWD

    digitalWrite(out2,LOW); //REV

  }

  Serial.print(dist_Inicio);Serial.print("\t");Serial.print(cuenta1);

```

```

Serial.print("\t");Serial.println(convert);

detachInterrupt(0);//desabilito interrupciones encoder horizontal

Stop();

}

```

```

void Secuencia1()

{

sensorInicio=digitalRead(input3);//D5

while(sensorInicio == HIGH)

{

    Subir();

    Avanzar();

    Bajar();

    Avanzar();

    sensorInicio=digitalRead(input3);//D5

}

}

```

```

void Secuencia2()

{

int vueltas = dist_Zero/(dist_Avance*2);

for(int x=0; x<vueltas; x++)

{

    Subir();

    Avanzar();

}

```



```

    Bajar();

    Avanzar();

}

}

void Subir()

{

Serial.print("SUBIENDO: ");Serial.println(dist_Superior);

convert = (dist_Superior-dist_Inferior)*2.45;

attachInterrupt(1, Encoder_Vertical, RISING); //Encoder horizontal

cuenta2 = 0;

while(cuenta2 <= convert)

{

digitalWrite(out3,HIGH); //FWD subir

digitalWrite(out4,LOW); //REV bajar

digitalWrite(out7,HIGH); //Electrovalvulas 1 y 2 ON

}

digitalWrite(out3,LOW); //Apago motor vertical

digitalWrite(out7,LOW); //Electrovalvulas 1 y 2 OFF

Serial.print(dist_Superior);Serial.print("\t");Serial.print(cuenta2);

Serial.print("\t");Serial.println(convert);

detachInterrupt(1);//desabilito interrupciones encoder horizontal

}


void Avanzar()

{

Serial.print("AVANZAR: ");Serial.println(dist_Avance);

```

```

convert = dist_Avance*2;

attachInterrupt(0, Encoder_Horizontal, RISING); //Encoder horizontal

cuenta1 = 0;

while(cuenta1 <= convert)

{

    digitalWrite(out1,HIGH); //FWD

    digitalWrite(out2,LOW); //REV

    digitalWrite(out7,HIGH); //Electrovalvulas 1 y 2 ON

}

digitalWrite(out1,LOW); //FWD

digitalWrite(out7,LOW); //Electrovalvulas 1 y 2 OFF

Serial.print(dist_Avance);Serial.print("\t");Serial.print(cuenta1);

Serial.print("\t");Serial.println(convert);

detachInterrupt(0);//desabilito interrupciones encoder horizontal

}

void Bajar()

{

    Serial.print("BAJANDO: ");Serial.println(dist_Inferior);

    convert = (dist_Superior - dist_Inferior)*2.45;

    attachInterrupt(1, Encoder_Vertical, RISING); //Encoder horizontal

    cuenta2 = 0;

    while(cuenta2 <= convert)

    {

        digitalWrite(out3,LOW); //FWD subir

        digitalWrite(out4,HIGH); //REV bajar

    }

```

```

digitalWrite(out4,LOW); //REV bajar off

Serial.print(dist_Inferior);Serial.print("\t");Serial.print(cuenta2);

Serial.print("\t");Serial.println(convert);

detachInterrupt(1);//desabilito interrupciones encoder horizontal

}

void Salida()

{

Serial.println("SALIR: ");

digitalWrite(out1,HIGH); //FWD

digitalWrite(out2,LOW); //REV

while(inicio==5)

{

Lectura_Serial();

}

}

```

Anexo 02: Capacitaciones

Para desarrollar el presente proyecto, se requería un curso en Raspberry Pi 3, a fin de poder conocer mejor el dispositivo y ampliar los conocimientos en programación del mismo:

— ★ —
Otorgado a:

Canaza Tapia, Rene Jhonatan

Por su participación muy destacada en el Curso de RASPBERRY PI 3

Organizado por Electronica & Robotica Electrotec S.A.C.

Llevado a cabo desde el 10 de Setiembre al 01 de Octubre del 2017, con una duración de 20 horas.

Yordy Erick Colina Huamán
Gerente General Electrotec Perú

— ★ —
Otorgado a:

Vargas Montero, Alberto

Por su participación muy destacada en el Curso de RASPBERRY PI 3

Organizado por Electronica & Robotica Electrotec S.A.C.

Llevado a cabo desde el 10 de Setiembre al 01 de Octubre del 2017, con una duración de 20 horas.

Yordy Erick Colina Huamán
Gerente General Electrotec Perú

Varsaa E.I.R.L.

Anexo 03: Carta de Reconocimiento de la Empresa Patrocinadora

GO/ 08-0070-2018

Lima, 23 de Enero de 2018.

Señores

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS - UPC

Prolongación Primavera 239.

Santiago de Surco.-

Atención : Ing. Manuel Márquez

Asesor de Tesis – Escuela de Ingeniería Electrónica UPC

Referencia: Proyecto de Tesis “Desarrollo de Sistema de Control Alternativo para Máquina Arenado”

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, le informamos sobre los resultados obtenidos en las pruebas de equipo de Control para la máquina de Arenado realizado en nuestras instalaciones.

Obteniendo lo siguiente:

- Cantidad de pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 30 cm x 60 cm: 30
 - Pruebas Satisfactorias: 29
- Cantidad de pruebas realizadas con compresor de arena encendido y con un vidrio de 50 cm x 70 cm: 30
 - Pruebas Satisfactorias: 30
- Cantidad de pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 30 cm x 60 cm: 20
 - Pruebas Satisfactorias: 20

Varsaa E.I.R.L.

- Cantidad de pruebas realizadas con compresor de arena apagado y con un vidrio de 50 cm x 70 cm: 20
 - Pruebas Satisfactorias: 20

El control del equipo se realizó con dos operarios diferentes, obteniendo en ambos casos resultados satisfactorios.

Estas pruebas se realizaron en los días 15 de Enero 2018 al 19 de Enero 2018.

Por medio del presente documento, damos nuestra conformidad del Sistema de Control implementado en nuestro equipo. Se agradece la atención brindada y el compromiso brindado por los integrantes del proyecto ya que han solucionado un problema que afectaba directamente a nuestra productividad mensual. Los alumnos:

Alberto Vargas M.

Rene Canaza T.

Sin otro particular, le expresamos los sentimientos de nuestra consideración.

Atentamente,

Antony Saavedra Briceño

Gerente General VARSA E.I.R.L.

Cel: 992396540