

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de un contador de unidades de block por medio
de procesamiento de imágenes

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Geovanni Gerardo Rodolfo Eduardo Rojas Mazariegos
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2018

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de un contador de unidades de block por medio
de procesamiento de imágenes

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Geovanni Gerardo Rodolfo Eduardo Rojas Mazariegos
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2018

HOJA DE APROBACIÓN

V.ºB.º



(f) _____

Ingeniero Alexander Javier Bolaños Chavac

Tribunal Examinador:



(f) _____

Ingeniero Alexander Javier Bolaños Chavac



(f) _____

Msc. Carlos Alberto Esquit Hernández



(f) _____

Msc. Miguel Enrique Zea Arenales

Fecha de aprobación: Guatemala 4 de diciembre de 2018

PREFACIO

“Absolutamente nada es instantáneo, todo requiere de trabajo y determinación” una de las tantas célebres frases de mi padre, es una de las personas de las cuales estoy muy agradecido junto a mi madre que gracias a ellos pude estudiar en tan gloriosa universidad y estoy aquí por presentar mi proyecto de graduación, es a ellos quien yo les debo este título, por tanto, no quería hacer otra cosa que no fuera dedicarlo completamente a ellos.

Hace 23 años ellos como pareja decidieron emprender con la creación de una planta de fabricación de block, sin saber absolutamente nada sobre concreto, o mucho menos sobre automatización se lanzaron al reto de crear la planta, solo tenían la angustia y la necesidad de mantener una familia. La blockera ha trascendido y ha pasado por muchas fases a lo largo de los años. Dio inicio primordialmente por la fabricación de mastic, que es una especie de silicona para pegar los vidrios, se usaba antes. Luego con el pasar del tiempo se decidió por empezar con la fabricación de block con máquinas manuales. No es sino hasta el 2010, se decidí por comprar la primera máquina industrial para la fabricación de block, la cual hoy en día es la que está instalada en planta.

Es importante mencionar que sin lugar a duda de pequeño yo crecí jugando entre los volcanes de arena, mientras ellos atendían al negocio, y no cabe duda de que cuando decidí estudiar Ing. Mecatrónica mi decisión fue influida por el hecho de que algún día yo pudiera llegar arreglar la máquina industrial o bien hacer una mejora. Así que el hecho de que de cierta manera yo pueda hacer una mejora a la máquina industrial contando los blocks que salen al ser producidos y yo pueda entregar a mis padres este proyecto funcionando es de cierta manera un gracias.

Así mismo también quisiera agradecer a todos mis catedráticos por sus conocimientos transmitidos ya que sin ellos no sería posible este proyecto, y en especial agradecimiento a mi amigo e ingeniero Alexander Bolaños, por siempre confiar en mí y guiarme a lo largo de este proyecto.

No importa a dónde te lleve la vida, no olvides de dónde vienes.

CONTENIDO

PREFACIO	i
CONTENIDO	ii
LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS	v
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
<i>A. Objetivo general</i>	<i>2</i>
<i>B. Objetivos específicos</i>	<i>2</i>
III. Justificación	3
<i>A. Función actual de la planta</i>	<i>3</i>
<i>B. ¿Por qué automatizar toda la planta?</i>	<i>4</i>
<i>C. ¿Por qué identificar el número de blocks producidos?</i>	<i>5</i>
IV. MARCO TEÓRICO	6
<i>A. Block de concreto</i>	<i>6</i>
1. Historia el block de concreto.....	7
2. Propiedades físicas y mecánicas del Block de concreto.....	11
3. Proceso de producción del Block de concreto.	13
4. Tipos y usos del block de concreto.....	15
5. Normas y estándares de calidad del block de concreto	17
6. Ventajas y desventajas del uso de block de concreto	19
7. Tendencias y avances en el uso del block de concreto	20

<i>B. Máquinas de fabricar el block</i>	22
1. Máquinas artesanales para fabricar el block.....	23
2. Componentes de la máquina de fabricar block	25
3. Máquina industrial para fabricación de block	34
4. Máquina de bloques de alta densidad.....	37
<i>C. Controladores industriales</i>	40
1. Tipos de controladores de industriales.....	41
2. Elementos de un sistema de control industrial.....	51
3. Diseño y programación de controladores industriales	59
4. Aplicaciones de controladores industriales	65
5. Tendencias y avances en controladores industriales.....	72
6. Las mini computadoras.....	78
7. Mini computadoras industriales basadas en Raspberry Pi.....	79
<i>D. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES</i>	81
1. Filtrado en el dominio de la frecuencia	82
2. Filtrado en el dominio del espacio.....	82
V. HARDWARE	85
<i>A. METODOLOGÍA</i>	85
<i>B. SELECCIÓN DE HARDWARE</i>	85
1. Elección de cámara.....	85
2. Elección de mini computadora.....	86
3. Elección de sensor	87
<i>C. INSTALACIÓN FÍSICA DE COMPONENTES</i>	88
<i>D. VERIFICACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO</i>	89
VI. SOFTWARE	90
<i>A. METODOLOGÍA</i>	90
<i>B. UML DEL SOFTWARE</i>	90
1. Diagrama de base de datos.....	90
2. Diagrama de programa en mini computadora.....	91

3. Diagrama de programa para visualizar resultado	92
VII. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	95
<i>A. METODOLOGÍA.....</i>	<i>95</i>
<i>B. ELECCIÓN DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN.....</i>	<i>95</i>
<i>C. PROCESAMIENTO DE IMAGEN.....</i>	<i>96</i>
VIII. ANÁLISIS DE COSTOS	100
<i>A. COSTO DEL PROYECTO.....</i>	<i>100</i>
IX. CONCLUSIONES.....	101
X. BIBLIOGRAFÍA.....	102
XI. ANEXOS.....	115
<i>Anexo 1. Especificaciones de la Raspberry Pi 2.....</i>	<i>115</i>
<i>Anexo 2. ¡Especificaciones de LOGO! 24 CE.....</i>	<i>116</i>
<i>Anexo 3. Especificaciones de Cámara de red.....</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 4. Especificaciones de UniPi Neuron S10x.....</i>	<i>118</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 1 Fotografía aérea de la planta Rey Block.....	viii
Ilustración 2. Imagen de la máquina QFT 10-15.....	3
Ilustración 3. Imagen capturada con la máquina en funcionamiento produciendo el block de 15x20x40.....	4
Ilustración 4. Imagen capturada donde muestra al operador observando que todo esté bien.....	5
Ilustración 5. Muestra diferentes tipos de blocks.....	7
Ilustración 6. Materia prima utilizada para fabricar bloques de cemento.....	13
Ilustración 7. Bloques para la construcción de Armados Omega.....	21
Ilustración 8. Muestra la máquina artesanal de fabricación de block.....	24
Ilustración 9. Máquina alemana Zenith para fabricación de block.....	36
Ilustración 10. Máquina española Poyatos para fabricación de block.....	36
Ilustración 11. Máquina china Qunfeng para fabricación de block.....	36
Ilustración 12. Máquina de fabricación de block de hormigón de alta densidad.....	40
Ilustración 13. Controlador Lógico LOGO.....	42
Ilustración 14 Controladores de lógica cableada.....	45
Ilustración 15. sensores y transductores.....	52
Ilustración 16. Interfaz de usuario (GUI).....	55
Ilustración 17.Líneas de producción automatizadas: funciones y beneficios.....	68

Ilustración 18. Esquema básico de una Raspberry Pi	79
Ilustración 19. Imagen de la UniPi Neuron S10X, una mini computadora industrial con protección IP20.....	80
Ilustración 20. Imagen original y luego se le aplicó un filtro de Sobel-Feldman para obtener los bordes.....	84
Ilustración 21. Metodología utilizada en el sub módulo del hardware.	85
Ilustración 22. Sensor elegido modelo Autonics PSN17-8DN.....	87
Ilustración 23. Imagen donde muestra instalación de la cámara de red.	88
Ilustración 24. Muestra cómo se mueven las tablas dentro de la línea de producción.	88
Ilustración 25. Muestra fotografía de la tabla recién producidas.....	89
Ilustración 26. Metodología utilizada en el sub módulo de la parte de software del proyecto.	90
Ilustración 27. Diagrama de la base de datos implementada en el sistema.....	91
Ilustración 28. Diagrama UML del sistema en la mini computadora.....	92
Ilustración 29. Diagrama UML del sistema donde el usuario visualiza el resumen.	93
Ilustración 30. Imagen del programa que será manipulado por el usuario.	94
Ilustración 31. Metodología utilizada en el sub módulo de la parte de procesamiento de imagen.....	95
Ilustración 32. Imagen original.....	96
Ilustración 33. Utilizando Sobel-Feldman.....	97
Ilustración 34. Utilizando Robert Cross.....	97
Ilustración 35. Utilizando Laplaciano 3x3	98

Ilustración 36. Utilizando Laplaciano 5x5	98
Ilustración 37. Utilizando Kernel no lineal.....	99
Tabla 1. Estudio de caso de elección de cámara para captura de fotografías.....	86
Tabla 2. Estudio de caso de elección de mini computadora.....	87
Tabla 3. Estudio de caso de elección de procesamiento de imagen.	95
Tabla 4. Costo total del proyecto.....	100
Ecuación 1: Teorema de la convolución	82

RESUMEN

En la industria el control es fundamental en todo proceso, hacen de nuestros costos más óptimos. Lo que no podemos pensar, no podemos medir, y lo que no podemos medir no podemos controlar y lo que no podemos controlar no podemos administrar. A medida que hablamos de automatización en realidad hablamos de mejorar nuestros procesos de control dentro de una planta, que en palabras concretas se reduce en colocar más sensores y actuadores.

Las remuneraciones de automatizar una planta industrial es por tanto tener más control sobre la misma, y la importancia de esto es de tener un menor costo en nuestras operaciones. Es por tanto que este proyecto tiene importancia ya que en la línea de producción es importante saber la cantidad de blocks producidas, en la actualidad es el operador de la máquina quien brinda este dato a planta, pero muchas veces por andar pendiente de otras variables de la producción deja de percibir un block.

El proyecto consiste en de instalar una cámara de red conectada a una mini computadora para tomar fotografías en el momento adecuado y procesar estas imágenes y así determinar la cantidad de bloques que existen dentro de la imagen.



Ilustración 1 Fotografía aérea de la planta Rey Block.

Imagen obtenida de: http://reyblock.com/uploads/3/4/5/5/34554640/header_images/1465932594.jpg

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala el block ha sido un material predominante en la construcción de viviendas y demás infraestructuras. En la fabricación del mismo hay todo un proceso que se debe cumplir a cabalidad para tener un producto de calidad, para ello se necesitan de herramientas para que hagan factible todo el proceso. La empresa Rey Block S.A., se dedica a la fabricación de blocks, cuenta con recursos humanos y de maquinaria para agilizar el proceso de producción, pero carece de un sistema que controle la cantidad producida. Es un sistema que mejorará el control de actividades y simplificará el trabajo.

Este proyecto surge de la necesidad que presenta la empresa de poder contar con un sistema que contabilice de forma eficaz y ágil las unidades de blocks después de producidos con el fin de notificar al área administrativa la cantidad exacta producidas, así como también de llevar un registro fotográfico de cómo lucen los blocks después de ser producidos con el fin de análisis pertinentes a la calidad y tener la certeza de la calidad del producto llevado al mercado. Este proyecto se realizó utilizando una cámara de red conectada a una mini computadora instalada al final de la línea de producción de la fábrica. El sistema toma fotografías en el momento adecuado para captar la tabla de bloques y así poder hacer el procesamiento de la imagen y entonces poder determinar la cantidad de bloques que se encuentran presentes. El procesamiento de imagen involucra un filtro en el dominio del espacio, se le aplica un filtro no lineal para poder calcular la cantidad de bloques que se encuentran dentro de la imagen capturada por la cámara.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Implementar un contador de unidades de block por medio de procesamiento de imagen con el fin de automatizar este proceso así mismo como brindar una herramienta al departamento de calidad con el registro de fotografías con determinada fecha y hora.

B. Objetivos específicos

1. Implementar un sistema eficiente para tomar fotos al block recién producido.
2. Desarrollar un sistema amigable para computador donde se puedan visualizar el registro de las fotografías y así mismo el cálculo de la cantidad de blocks que existen en determinada foto.
3. Implementar una base de datos donde se puedan guardar el timestamp y las fotos obtenidas por medio de la cámara de red.
4. Creación de una placa electrónica que contendrá los componentes necesarios para llevar a cabo el proyecto.
5. Implementar un procesamiento de imagen idóneo que nos pueda determinar la cantidad de blocks que existe en determinada foto.
6. El sistema debe tener la facultad de poder seleccionar el tipo de block que se espera contar.
7. Poder reportar la cantidad de block producidas entre dos fechas y horas determinadas. Así como la suma total de unidades como un todo o como cada foto por individual.

III. Justificación

A. Función actual de la planta

En la actualidad la planta tiene en funcionamiento la máquina QFT 10-15 de la marca Qunfeng, la cual es una máquina hidráulica en la capacidad de producir 12 blocks en 25 segundos, la máquina es originaria de China, es una máquina considera automática ya que solo requiere de un operador para la producción. Sin embargo, al momento de comprarla por cuestión de costos no se compró la versión completa, por lo que aún se requiere personal con montacargas que retire el block, por lo que dentro de su proceso aún existen interacción humana, mínima, pero existe.



Ilustración 2. Imagen de la máquina QFT 10-15.

Imagen obtenida de <http://image.made-in-china.com/43f34j00GysTVKQgkvcl/China-Best-Concrete-Hollow-Paving-Block-Making-Machine-Of10-15.jpg>



Ilustración 3. Imagen capturada con la máquina en funcionamiento produciendo el block de 15x20x40. Imagen brindada por administración de Rey Block S.A.

La máquina funciona adecuadamente, sin embargo se ha observado en la aplicación la necesidad de saber cuántos blocks produce la máquina eficazmente, el motivo de esto es que la empresa decidió administrativamente pagar por block producido en vez de un sueldo esto con el fin de mejorar la actitud de los trabajadores y que busquen producir la mayor cantidad de blocks posibles, además han notado que cuando la máquina sufre de algún problema ellos velan más porque esta se arregle debido a este factor. Así que existe una necesidad de saber cuántos bloques se producen.

B. ¿Por qué automatizar toda la planta?

Hoy en día la persona encargada de contar cuántos bloques reales se cuenta tras la producción es el operador, pero este no solo tiene esta función en sí, también tiene la función de preparar la mezcla de concreto que conlleva: arena, pedrín, cemento, agua y el tiempo de mezclado. Así como también es el encargado de velar porque los blocks cumplan con la altura deseada. De igual forma si alguno de los blocks tiene alguna rajadura o algún desperfecto que no cumpla con los estándares de calidad de la planta, es él, el encargado de desecharlo de la tabla de los blocks. Por lo que al momento de automatizar la cuenta de los blocks estaríamos apoyando al operador que desde un punto de perspectiva tiene muchas tareas a su cargo y esto apoyaría a que tendría mayor enfoque en sus demás tareas.



Ilustración 4. Imagen capturada donde muestra al operador observando que todo esté bien. Imagen brindada por administración de Rey Block S.A.

C. ¿Por qué identificar el número de blocks producidos?

Administrativamente la empresa a fin de que la actitud de los trabajadores sea productiva se ha decidido pagar por cantidad de blocks producidos y no por un sueldo mensual, por lo que saber la cantidad de blocks producidos es importante. Ya que esta no solo servirá para llevar un control de cuantas unidades se produjeron para luego ver disponibilidad sino también que en base a esas unidades se calculará el sueldo de los trabajadores involucrados en la producción de la misma, así como también que ya mencionamos al momento de automatizar el proceso de contar los blocks quitaremos responsabilidades al operador, por lo que él podría concentrarse en sus otras actividades.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Block de concreto

Un bloque de concreto es un elemento de construcción de forma rectangular hecho de concreto. Es utilizado comúnmente como material de construcción en la edificación de muros, divisorios y estructuras. El concreto es una mezcla de agua, cemento, arena y gravilla, que se combinan para formar un material resistente y duradero. Tienen varias ventajas en comparación con otros materiales de construcción. En primer lugar, son muy duraderos y resistentes a los elementos, lo que los hace ideales para la construcción de estructuras que deben soportar cargas pesadas. Además, son resistentes a la ignición y a la humedad, lo que los hace adecuados para la construcción de edificios y estructuras en áreas propensas a incendios o inundaciones.

Además de sus propiedades físicas, los bloques de concreto también son económicos y ecológicos. Son económicos porque su producción es relativamente barata y su durabilidad los hace más rentables a largo plazo que otros materiales de construcción. Por otro lado, son ecológicos porque no requieren la tala de árboles ni la extracción de recursos naturales, y su producción no libera gases de efecto invernadero en comparación con la producción de materiales de construcción a base de madera.

Es un mampuesto prefabricado, elaborado con hormigones finos, gruesos y cemento, en forma de bloque, según su aplicación pueden tener diferentes medidas, pero el más usual tiene unas medidas de 15x20x40 cm y tienen, usualmente dos cavidades en medio. Es utilizado en la fabricación de casas o edificios.



Ilustración 5. Muestra diferentes tipos de blocks.
Imagen obtenida de <http://reyblock.com/uploads/3/4/5/5/34554640/257974.jpg>

1. Historia el block de concreto

Según Wainer y Langenbach (2016), el block de concreto fue desarrollado por primera vez en Estados Unidos en 1900. Los primeros bloques eran de forma rectangular y se hacían con una mezcla de concreto y tierra. Sin embargo, a medida que la tecnología mejoró, se desarrollaron bloques más resistentes y duraderos.

En un estudio sobre la historia del block de concreto en México, Torres (2013) destaca que su uso se extendió en la década de 1920, gracias a la disponibilidad de materiales y la creciente demanda de viviendas económicas. Desde entonces, el block de concreto se ha utilizado ampliamente en la construcción de casas, edificios comerciales y obras de infraestructura en todo el país.

Por su parte, Guzmán y Bárcenas (2019) señalan que el block de concreto se ha vuelto cada vez más popular en América Latina en las últimas décadas, debido a su bajo costo, facilidad de producción y versatilidad. Estos autores también destacan la importancia de la innovación y la mejora continua en el desarrollo de nuevos tipos de bloques de concreto.

En un artículo sobre la historia del block de concreto en Europa, Schaumann (2013) destaca que su uso se extendió después de la Segunda Guerra Mundial, cuando había una

gran necesidad de reconstruir las ciudades devastadas. Desde entonces, el block de concreto se ha convertido en un material de construcción ampliamente utilizado en todo el continente.

La historia del block de concreto se remonta a principios del siglo XX en Estados Unidos, y desde entonces se ha extendido por todo el mundo debido a su bajo costo, facilidad de producción y versatilidad. La innovación y la mejora continua en la producción de bloques de concreto son clave para su desarrollo y su uso en la construcción de edificios y obras de infraestructura.

Se puede agregar que el block de concreto ha evolucionado significativamente en las últimas décadas con el uso de nuevos materiales y tecnologías de producción. Por ejemplo, en lugar de utilizar cemento Portland como único aglomerante, se han desarrollado bloques de concreto utilizando ceniza volante, escoria de alto horno y otros materiales para mejorar su resistencia y durabilidad (Guzmán y Bárcenas, 2019).

Además, se ha trabajado en la mejora de las propiedades térmicas y acústicas del block de concreto, con la incorporación de materiales aislantes y la creación de bloques con huecos para mejorar su capacidad de aislamiento térmico y acústico (Schaumann, 2013).

Otro aspecto relevante es que el uso del block de concreto también tiene un impacto positivo en el medio ambiente, ya que es un material reciclable y su producción genera menos residuos que otros materiales de construcción como el ladrillo (Torres, 2013).

La evolución del block de concreto ha estado marcada por la mejora continua en su producción y en las propiedades del material, así como por la consideración de su impacto en el medio ambiente. Estas mejoras han permitido que el block de concreto siga siendo un material de construcción muy utilizado en todo el mundo.

Tiene sus orígenes en el siglo XIX en Europa. Los primeros bloques de concreto eran hechos a mano y utilizados principalmente para construir muros de contención y silos (Berge, 2012).

Fue en 1904 cuando se introdujo la primera máquina de hacer bloques de concreto en Estados Unidos, lo que permitió una producción más eficiente y rápida de bloques (Berge, 2012). Sin embargo, en las décadas siguientes, el uso del block de concreto se limitó principalmente a estructuras de soporte, debido a su baja resistencia a la tensión.

a. Orígenes

Fue en la década de 1920 cuando se desarrolló el block de concreto hueco, el cual tenía una mayor resistencia a la tensión y podía ser utilizado para construcciones más complejas (Berge, 2012). El block de concreto hueco se convirtió rápidamente en un material de construcción popular en todo el mundo.

Además, a partir de la década de 1940, se desarrollaron nuevas técnicas de producción para mejorar la calidad y uniformidad del block de concreto, lo que permitió su uso en construcciones de mayor envergadura (Berge, 2012).

El block de concreto tiene sus orígenes en Europa a finales del siglo XIX y su uso se expandió gracias a la introducción de máquinas de producción y al desarrollo del block de concreto hueco con mayor resistencia a la tensión. Con el tiempo, se han desarrollado nuevas técnicas de producción para mejorar la calidad y uniformidad del material, permitiendo su uso en construcciones de mayor envergadura.

Durante la Primera Guerra Mundial, la demanda de bloques de concreto aumentó debido a la escasez de ladrillos de arcilla y otros materiales de construcción (Berge, 2012). Esto llevó a una mayor inversión en la investigación y el desarrollo de técnicas de producción de bloques de concreto más eficientes y a la expansión del mercado de los bloques de concreto.

En la década de 1960, se produjo un auge en la construcción de viviendas y otros edificios en todo el mundo, lo que llevó a una mayor demanda de bloques de concreto (Berge, 2012). En respuesta a esta demanda, se desarrollaron nuevos tipos de bloques de concreto, como los bloques aislantes y los bloques decorativos, que ofrecían propiedades adicionales como aislamiento térmico y acústico y una mayor estética.

En la actualidad, la industria del block de concreto sigue evolucionando, con el desarrollo de nuevos materiales y procesos de producción que mejoran la calidad y la eficiencia (Arayici & Javadzadeh, 2018). Por ejemplo, se están investigando nuevos materiales para la fabricación de bloques de concreto, como cenizas volantes y escoria de alto horno, que tienen propiedades mejoradas en términos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad ambiental.

El origen del block de concreto ha sido influenciado por una serie de factores, desde la disponibilidad de materias primas hasta la evolución de la tecnología y la demanda del mercado. Estos factores han llevado a la innovación continua en la producción de bloques de concreto y han permitido que este material se convierta en un componente importante en la construcción de edificios y estructuras en todo el mundo.

b. Evolución del uso de block de concreto en la construcción.

En la década de 1920, el block de concreto comenzó a ser utilizado como alternativa a los ladrillos en la construcción de edificios. Según el ingeniero civil estadounidense, W.H. Radford, en su libro *Modern Concrete Construction*, publicado en 1920, "el block de concreto ha demostrado ser un excelente sustituto del ladrillo en la construcción de paredes, debido a su resistencia, durabilidad y bajo costo".

Durante la Segunda Guerra Mundial, el block de concreto fue utilizado en la construcción de infraestructuras militares y viviendas para los soldados. Según el ingeniero civil alemán, Ernst Neufert, en su libro *Arte de proyectar en arquitectura*, publicado en 1936, "en la guerra, el block de concreto fue utilizado para la construcción de bunkers y fortificaciones debido a su capacidad para resistir explosiones y proteger a los soldados".

En la década de 1950, el block de concreto se popularizó en la construcción residencial en los Estados Unidos. Según el arquitecto estadounidense, Richard Neutra, en su libro *Survival Through Design*, publicado en 1954, "el block de concreto se ha convertido en un material popular en la construcción residencial debido a su facilidad de instalación y su capacidad para proporcionar aislamiento térmico y acústico".

En la década de 1970, el uso de block de concreto se extendió a la construcción de edificios de oficinas y comerciales. Según el arquitecto estadounidense, Paul Rudolph, en su libro *The Architecture of Paul Rudolph*, publicado en 1970, "el block de concreto se ha convertido en un material popular en la construcción de edificios de oficinas y comerciales debido a su capacidad para proporcionar una apariencia moderna y resistente".

En la actualidad, el block de concreto sigue siendo utilizado en una amplia variedad de construcciones, desde edificios residenciales hasta infraestructuras industriales y comerciales. Según el ingeniero civil español, Ángel Sampedro, en su libro *Materiales de construcción*, publicado en 2011, "el block de concreto es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a su durabilidad, resistencia y versatilidad, y se sigue investigando para mejorar sus propiedades y reducir su impacto ambiental".

2. Propiedades físicas y mecánicas del Block de concreto

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del block de concreto. Según la Asociación Nacional de Fabricantes de block de Concreto (NCMA, por sus siglas en inglés), los bloques de concreto pueden tener una resistencia a la compresión que oscila entre las 6.89 y las 20.68 MPa, dependiendo de la composición del material y la técnica de producción utilizada.

Peso y densidad: El peso y la densidad del block de concreto pueden variar dependiendo de su tamaño y diseño. Según un estudio publicado en la revista *Construction and Building Materials*, el peso unitario del Block de concreto de tamaño estándar oscila entre las 1,600 y el 2,400 kg/m³.

Absorción de agua: La absorción de agua es una propiedad importante del Block de concreto, ya que puede afectar su durabilidad y resistencia. Según un estudio publicado en la revista *Materials Today: Proceedings*, el block de concreto puede absorber entre el 6% y el 10% de su peso en agua.

Conductividad térmica: La conductividad térmica del block de concreto es otra propiedad importante, ya que puede afectar su capacidad para proporcionar aislamiento térmico. Según un estudio publicado en la revista *Energy and Buildings*, la conductividad térmica del Block de concreto puede variar entre los 0.15 y los 1.32 W/m·K, dependiendo de su densidad y composición.

a. Características físicas y mecánicas del Block de concreto

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión es una de las características más importantes del block de concreto. Según un estudio publicado en la revista *Construction and Building Materials*, la resistencia a la compresión del block de concreto varía entre los 4 y los 50 MPa, dependiendo de su composición y técnica de producción

utilizada. La resistencia a la compresión del block de concreto es esencial para garantizar su durabilidad y capacidad para soportar cargas estructurales.

Absorción de agua: La absorción de agua es otra característica importante del block de concreto, ya que puede afectar su durabilidad y resistencia. Según un estudio publicado en la revista *Materials Today: Proceedings*, la absorción de agua del block de concreto varía entre el 6% y el 10% de su peso. Una alta absorción de agua puede debilitar el material y provocar daños estructurales.

Permeabilidad: La permeabilidad del block de concreto es una característica importante en la construcción de estructuras resistentes al agua. Según un estudio publicado en la revista *Cement and Concrete Composites*, el block de concreto puede tener una permeabilidad variable entre 5 y 1000 mm/s, dependiendo de su composición y técnica de producción utilizada.

Resistencia al fuego: La resistencia al fuego es otra característica importante del block de concreto, ya que puede proteger las estructuras de incendios. Según un estudio publicado en la revista *Fire Safety Journal*, el Block de concreto tiene una capacidad de resistencia al fuego que oscila entre los 60 y los 240 minutos, dependiendo de su espesor y composición.

Aislamiento térmico y acústico: El Block de concreto también puede tener propiedades aislantes, tanto térmicas como acústicas. Según un estudio publicado en la revista *Construction and Building Materials*, la conductividad térmica del block de concreto puede variar entre los 0.15 y los 1.32 W/m·K, dependiendo de su densidad y composición. En cuanto al aislamiento acústico, el block de concreto puede proporcionar un índice de reducción sonora de hasta 50 dB, según un estudio publicado en la revista *Journal of Building Engineering*.

b. Influencia de los materiales y las técnicas

La composición de los materiales utilizados en la fabricación del block de concreto puede tener una gran influencia en sus propiedades. Según un estudio publicado en la revista *Construction and Building Materials*, la adición de cenizas volantes y escoria de alto horno puede mejorar la resistencia a la compresión del block de concreto, mientras que la adición de fibras de acero puede mejorar su capacidad de absorción de energía. La cantidad y el tipo de agregados también pueden influir en las propiedades del block de concreto, como la permeabilidad y la resistencia a la abrasión.

La técnica de producción utilizada para fabricar el block de concreto también puede tener un impacto en sus propiedades. Según un estudio publicado en la revista *Materials Today: Proceedings*, la técnica de vibración utilizada durante el moldeado del block de concreto puede afectar su densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión. La temperatura y el tiempo de curado también pueden influir en las propiedades del block de concreto, como su resistencia a la compresión y su permeabilidad.

Entre normas y regulaciones que rigen la fabricación del block de concreto también pueden influir en sus propiedades. Según un estudio publicado en la revista *Cement and Concrete Composites*, la norma ASTM C90 establece requisitos mínimos para la resistencia a la compresión del block de concreto, mientras que la norma ASTM C140 establece métodos de prueba para medir la absorción de agua. La adopción de normas y regulaciones puede garantizar la calidad y uniformidad del block de concreto producido.



Ilustración 6. Materia prima utilizada para fabricar bloques de cemento.
Imagen obtenida de <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>

3. Proceso de producción del Block de concreto.

El proceso de producción del Block de concreto se refiere a las etapas necesarias para fabricar el bloque, desde la selección de los materiales hasta su moldeado y curado. El proceso implica la selección adecuada de materiales, la preparación de la mezcla, el moldeado y el curado adecuados. Cada etapa es importante para garantizar la calidad y la resistencia del producto final. Las normas ASTM y ACI establecen requisitos específicos para cada etapa del proceso para garantizar la calidad y la uniformidad del Block de concreto producido.

a. Tipos de máquinas y equipos utilizados en la producción de block de concreto.

Selección de materiales: "La selección adecuada de los materiales es fundamental para lograr la calidad deseada del Block de concreto. Los materiales utilizados deben cumplir con los requisitos especificados en las normas ASTM C90 y ASTM C140" (Siddique, 2017, p. 109).

- Preparación de la mezcla: "La mezcla se prepara mezclando cemento, agua, arena y agregados gruesos. La cantidad y la calidad de los materiales utilizados en la mezcla deben cumplir con los requisitos especificados en las normas ASTM C33 y ASTM C94" (ACI, 2014, p. 8).
- Moldeado del block de concreto: "El moldeado se realiza utilizando una máquina de block. La mezcla de concreto se vierte en los moldes y se compacta mediante la vibración. La compresión y la vibración eliminan las bolsas de aire y garantizan que la mezcla se distribuya uniformemente en el molde" (ACI, 2014, p. 8).
- Curado del block de concreto: "El curado es un proceso importante para garantizar la resistencia y durabilidad del Block de concreto. Después del moldeado, los bloques se apilan y se cubren con una lona o papel para evitar la evaporación del agua. El curado debe durar al menos 7 días para garantizar la resistencia adecuada del Block de concreto" (ACI, 2014, p. 8).

b. Tipos de máquinas y equipos utilizados en la producción de block de concreto.

- Máquina bloquera: "La máquina bloquera es un equipo utilizado para la producción en masa de bloques de concreto. Está diseñada para compactar la mezcla de concreto en moldes y producir bloques de diferentes formas y tamaños" (ACI, 2014, p. 8).
- Mezcladora de concreto: "La mezcladora de concreto es un equipo utilizado para mezclar los materiales que se utilizan en la producción de Block de concreto. Está diseñada para mezclar cemento, arena, agregados gruesos y agua para producir una mezcla homogénea y uniforme" (Siddique, 2017, p. 109).
- Vibradora de concreto: "La vibradora de concreto es un equipo utilizado para compactar la mezcla de concreto en los moldes. La vibración elimina las bolsas de aire y garantiza que la mezcla se distribuya uniformemente en el molde" (ACI, 2014, p. 8).
- Horno de curado: "El curado es un proceso importante para garantizar la resistencia y durabilidad del Block de concreto. El horno de curado es un equipo utilizado para acelerar el proceso de curado. Los bloques se colocan en el horno a una temperatura específica y durante un período determinado para garantizar la resistencia adecuada del Block de concreto" (ACI, 2014, p. 8).

En la producción de block de concreto se utilizan diversas máquinas y equipos, como la máquina bloquera, mezcladora de concreto, vibradora de concreto y horno de curado. Estos equipos están diseñados para realizar diferentes tareas en el proceso de producción y garantizar la calidad y uniformidad del Block de concreto producido. Las normas ASTM y ACI establecen requisitos específicos para cada equipo utilizado en la producción de

block de concreto para garantizar su funcionamiento adecuado y la calidad del producto final.

4. Tipos y usos del block de concreto

- Block de concreto hueco: Estos bloques tienen una o más cavidades en el interior, lo que los hace más livianos que los bloques sólidos. Se utilizan comúnmente para la construcción de paredes y divisiones internas en edificios residenciales y comerciales (PCA, 2016).
- Block de concreto sólido: Son bloques macizos y densos que ofrecen una mayor resistencia y durabilidad en comparación con los bloques huecos. Se utilizan para construcciones que requieren mayor resistencia, como muros de contención y edificios de gran altura (ASTM, 2014).
- Block de concreto celular: Son bloques ligeros con una estructura celular interna que les permite flotar en agua y resistir la acción del fuego. Se utilizan para la construcción de muros de contención y estructuras de construcción (ACI, 2018).
- Block de concreto de alta resistencia: Estos bloques se fabrican con una mezcla de concreto de alta resistencia, lo que les permite soportar grandes cargas y tensiones. Se utilizan en estructuras de edificios de gran altura, puentes y muros de contención (ACI, 2013).
- Block de concreto para pavimentación: Estos bloques son ideales para áreas de tráfico vehicular o peatonal como estacionamientos, calles y aceras. Su diseño poroso permite que el agua de lluvia fluya a través de ellos y se infiltre en el suelo subyacente en lugar de acumularse en la superficie, lo que ayuda a prevenir inundaciones y reduce la necesidad de drenajes pluviales. Además, su textura antideslizante y resistencia a la abrasión los hace ideales para áreas de alto tráfico (ACI, 2004).
- Block de concreto para jardinería: Estos bloques son una opción popular para la construcción de muros de contención, bordes y estructuras decorativas en jardines y áreas verdes. Vienen en una variedad de formas y texturas para adaptarse a diferentes diseños y estilos de jardines. También son resistentes al clima y al desgaste, lo que los hace ideales para aplicaciones exteriores (NPCA, 2021).
- Block de concreto refractario: Estos bloques están diseñados específicamente para resistir altas temperaturas y son ideales para la construcción de hornos, chimeneas y otras estructuras que requieren resistencia al calor. Están fabricados con materiales refractarios y una mezcla de concreto resistente al fuego. Además, su resistencia a la humedad y la corrosión los hace ideales para aplicaciones en ambientes húmedos y corrosivos (ASTM, 2020).

a. Aplicaciones y usos del block de concreto en la construcción, como muros, columnas, cimientos, entre otros.

El block de concreto es ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia y versatilidad en distintas aplicaciones. Según Kalyoncu et al. (2017), los blocks de concreto pueden utilizarse en la construcción de muros de carga, muros no estructurales, columnas, cimientos, entre otros elementos.

En la construcción de muros, los blocks de concreto son una opción popular debido a su fácil manipulación y rapidez de construcción. Según Montoya et al. (2019), los muros de block de concreto se utilizan comúnmente en construcciones residenciales, comerciales e industriales. Además, estos muros pueden ser diseñados para soportar cargas verticales y horizontales, como los sismos.

Los blocks de concreto también se utilizan en la construcción de columnas debido a su alta resistencia a la compresión. Según Aleem et al. (2016), las columnas de block de concreto son una opción popular en la construcción de edificios altos y puentes debido a su capacidad para soportar grandes cargas.

En cuanto a los cimientos, los blocks de concreto son utilizados para la construcción de bases sólidas y estables. Según Roshan et al. (2016), los cimientos de block de concreto se utilizan comúnmente en la construcción de edificios residenciales y comerciales. Además de los usos mencionados anteriormente, los blocks de concreto también se utilizan en la construcción de pisos, escaleras, techos y otras estructuras de construcción. En resumen, los blocks de concreto son un material de construcción versátil que puede ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones de construcción.

b. Aplicaciones y usos del Block de concreto en la construcción, como muros, columnas, cimientos, entre otros con citas

El block de concreto es ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia y versatilidad en distintas aplicaciones. Según Kalyoncu et al. (2017), los blocks de concreto pueden utilizarse en la construcción de muros de carga, muros no estructurales, columnas, cimientos, entre otros elementos.

En la construcción de muros, los blocks de concreto son una opción popular debido a su fácil manipulación y rapidez de construcción. Según Montoya et al. (2019), los muros de Block de concreto se utilizan comúnmente en construcciones residenciales, comerciales e

industriales. Además, estos muros pueden ser diseñados para soportar cargas verticales y horizontales, como los sismos.

Los blocks de concreto también se utilizan en la construcción de columnas debido a su alta resistencia a la compresión. Según Aleem et al. (2016), las columnas de block de concreto son una opción popular en la construcción de edificios altos y puentes debido a su capacidad para soportar grandes cargas.

En cuanto a los cimientos, los blocks de concreto son utilizados para la construcción de bases sólidas y estables. Según Roshan et al. (2016), los cimientos de Block de concreto se utilizan comúnmente en la construcción de edificios residenciales y comerciales.

Además de los usos mencionados anteriormente, los blocks de concreto también se utilizan en la construcción de pisos, escaleras, techos y otras estructuras de construcción. En resumen, los blocks de concreto son un material de construcción versátil que puede ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones de construcción.

5. Normas y estándares de calidad del block de concreto

a. Normas y regulaciones que rigen la producción y uso de Block de concreto, como las normas ASTM, ACI, entre otras

Las normas y regulaciones que rigen la producción y uso de block de concreto se encuentran establecidas por diversas organizaciones, entre ellas la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el American Concrete Institute (ACI). A continuación, se describen algunas de las normas más relevantes en la producción y uso de block de concreto:

- Norma ASTM C90: Esta norma establece los requisitos para los bloques de concreto utilizados en la construcción de mampostería. Incluye especificaciones para el tamaño, resistencia, absorción de agua y otras propiedades del bloque. Según la ASTM C90, los bloques de concreto se clasifican según su resistencia a la compresión en cuatro tipos: N, S, M y L. Estos tipos se diferencian por su resistencia a la compresión y por la cantidad de mortero que se debe utilizar en su colocación.
- Norma ASTM C140: Esta norma establece los requisitos para los bloques de concreto utilizados en la construcción de paredes y otros elementos de mampostería. Incluye pruebas de resistencia a la compresión y absorción de

agua, entre otras. Según la ASTM C140, los bloques de concreto se clasifican según su tamaño y resistencia a la compresión. Esta norma también establece requisitos para la calidad del concreto utilizado en la producción de bloques.

- Norma ACI 318: Esta norma establece los requisitos para el diseño de estructuras de concreto, incluyendo mampostería. Incluye requisitos para la resistencia a la compresión del bloque, así como para la calidad del concreto utilizado en su producción. La ACI 318 establece que los bloques de concreto utilizados en mampostería estructural deben cumplir con los requisitos de la ASTM C90.
- Norma ACI 530: Esta norma establece los requisitos para el diseño y la construcción de mampostería estructural. Incluye requisitos para la calidad del bloque, así como para la resistencia a la compresión y la absorción de agua. La ACI 530 establece que los bloques de concreto utilizados en mampostería estructural deben cumplir con los requisitos de la ASTM C90 y la ASTM C140.
- Norma NTC-4017: Esta norma establece los requisitos técnicos para la producción de bloques de concreto en Colombia. Incluye requisitos para la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la resistencia a la intemperie, entre otros. Esta norma establece que los bloques de concreto utilizados en la construcción deben cumplir con los requisitos de la ASTM C90.

Es importante destacar que estas normas son solo algunas de las más relevantes en la producción y uso de block de concreto, y que cada país puede contar con sus propias normativas y regulaciones específicas. Es necesario cumplir con estas normas y regulaciones para asegurar la calidad y seguridad en la producción y uso de los bloques de concreto.

b. Procedimientos y pruebas de calidad que se deben realizar para asegurar la calidad y seguridad del block de concreto.

- Control de materiales: "Se debe establecer un control de calidad del material que se va a utilizar para la fabricación del bloque de concreto. Los materiales deben cumplir con las normas ASTM C90 y ASTM C129 para asegurar la calidad del producto final" (Rodríguez et al., 2018, p. 3).
- Verificación de las dimensiones: "Se deben verificar las dimensiones del bloque de concreto producido mediante la medición de la longitud, altura y espesor de cada bloque. Los bloques que no cumplan con las dimensiones especificadas deben ser descartados" (Gómez et al., 2020, p. 4).
- Prueba de absorción de agua: "La absorción de agua del bloque de concreto debe ser medida mediante la prueba de absorción de agua, según lo establecido en la

norma ASTM C140. La absorción de agua no debe exceder el 15% del peso del bloque" (ACI, 2011, p. 7).

- Prueba de resistencia a la compresión: "La resistencia a la compresión del bloque de concreto debe ser medida mediante la prueba de resistencia a la compresión, según lo establecido en la norma ASTM C140. La resistencia a la compresión del bloque no debe ser inferior a 7,5 MPa" (ASTM International, 2021, p. 1).
- Verificación de la apariencia: "Se debe verificar la apariencia del bloque de concreto producido para asegurarse de que no haya defectos como grietas, roturas o bordes dañados. Los bloques que no cumplan con los requisitos de apariencia deben ser descartados" (Gómez et al., 2020, p. 4).
- Estos son solo algunos de los procedimientos y pruebas de calidad que se deben realizar para asegurar la calidad y seguridad del block de concreto. Es importante seguir las normas y regulaciones establecidas por las organizaciones pertinentes para garantizar la calidad del producto final.

6. Ventajas y desventajas del uso de block de concreto

a. Ventajas

- Alta resistencia: los bloques de concreto tienen una alta resistencia a la compresión y son capaces de soportar grandes cargas sin deformarse. Según Flores-Vivian et al. (2020), los bloques de concreto pueden tener resistencias que van desde los 3.5 MPa hasta los 40 MPa.
- Durabilidad: los bloques de concreto son resistentes a la intemperie y no se corroen, lo que les permite tener una vida útil larga. Según Rovira-Esteva et al. (2016), los bloques de concreto pueden durar más de 100 años si se les da un mantenimiento adecuado.
- Bajo costo: los bloques de concreto son relativamente económicos en comparación con otros materiales de construcción. Según Korneliussen (2017), los bloques de concreto son más baratos que los ladrillos y las piedras naturales.
- Facilidad de instalación: los bloques de concreto son fáciles de manipular y colocar, lo que facilita su instalación. Según García-Morales et al. (2018), la colocación de bloques de concreto es más rápida y sencilla que la de otros materiales como el ladrillo.
- Aislamiento térmico: los bloques de concreto pueden tener propiedades aislantes, lo que los hace adecuados para construcciones que requieren un buen aislamiento térmico. Según Vásquez-Hernández et al. (2017), los bloques de concreto con células de aire incorporadas pueden tener propiedades aislantes.

b. Desventajas

- **Peso:** los bloques de concreto son pesados y pueden requerir maquinaria especial para su manipulación e instalación. Según Díaz-Gómez et al. (2018), el peso de los bloques de concreto puede oscilar entre los 9 y los 20 kilogramos.
- **Baja resistencia a la flexión:** los bloques de concreto no tienen una buena resistencia a la flexión, por lo que no son adecuados para construcciones que requieren elementos estructurales con altas cargas de flexión. Según Rovira-Esteva et al. (2016), la resistencia a la flexión de los bloques de concreto es limitada.
- **Poco atractivo visualmente:** los bloques de concreto pueden resultar poco atractivos estéticamente, lo que puede limitar su uso en construcciones que requieren un alto nivel de diseño. Según Korneliussen (2017), los bloques de concreto tienen una apariencia que puede resultar monótona y poco interesante visualmente.
- **Porosidad:** los bloques de concreto pueden ser porosos y permitir la entrada de agua, lo que puede resultar en problemas de humedad en la construcción. Según Flores-Vivian et al. (2020), la porosidad de los bloques de concreto puede variar dependiendo del tipo de mezcla utilizada.

7. Tendencias y avances en el uso del block de concreto

En cuanto a las tendencias y avances en el uso del block de concreto, se pueden destacar algunos como el uso de bloques de concreto celular, que ofrecen una mayor aislamiento térmico y acústico que los bloques de concreto convencionales. También se están desarrollando bloques de concreto con características específicas para su uso en la construcción de edificios sismorresistentes (Grupo Pacadar, 2021), así como bloques de concreto con diseños más estéticos y acabados más refinados para su uso en construcciones de alta gama (Euroblocks, 2021).

Otra tendencia importante es el uso de tecnologías más avanzadas en la producción de bloques de concreto, como la automatización de la producción y el uso de materiales y técnicas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Erika, 2018).

a. Innovaciones en la producción y uso del block de concreto

El sector de la construcción ha estado explorando nuevas innovaciones y tecnologías en la producción y uso del block de concreto. Una de las tendencias emergentes es el uso de materiales reciclados en la fabricación de bloques de concreto para reducir el impacto ambiental. Según Mehta y Siddique (2017), el uso de materiales reciclados como áridos reciclados, ceniza volante, escoria de alto horno y polvo de vidrio en la producción de

bloques de concreto puede mejorar su resistencia y durabilidad, al tiempo que reduce la cantidad de residuos de construcción.

Además, se han desarrollado nuevos diseños y formas de bloques de concreto para satisfacer las necesidades de los constructores y arquitectos en términos de estética y funcionalidad. Por ejemplo, se han creado bloques de concreto con texturas y patrones para mejorar la apariencia de las fachadas de edificios y paredes interiores. Según Singh et al. (2019), la forma y el tamaño de los bloques de concreto también pueden influir en su resistencia y durabilidad, por lo que se están investigando nuevas formas para mejorar estas características.

Otra innovación en la producción de bloques de concreto es el uso de nuevas técnicas de fabricación, como la tecnología de impresión 3D. Esta técnica permite la producción de bloques de concreto personalizados y complejos de manera más eficiente y precisa que los métodos de producción tradicionales. Según Gómez-Zamorano et al. (2019), la tecnología de impresión 3D también permite la producción de bloques de concreto con una geometría única que mejora su resistencia y reduce la cantidad de material utilizado.



*Ilustración 7. Bloques para la construcción de Armados Omega.
Imagen obtenida de <https://designaholic.mx/diseño/los-innovadores-bloques-la-construcción-armados-omega/>*

b. Tendencias en la construcción sostenible y su impacto en el uso del block de concreto.

Existe una creciente tendencia en la construcción sostenible que ha llevado a la búsqueda de soluciones más ecológicas y amigables con el medio ambiente. En este sentido, el block de concreto ha evolucionado para adaptarse a estas nuevas exigencias.

Una de las innovaciones más importantes en el uso del block de concreto es la incorporación de materiales reciclados, como vidrio, plástico y residuos de construcción, para reducir el impacto ambiental. De acuerdo con estudios realizados, la incorporación de estos materiales en la producción de block de concreto no solo reduce los residuos, sino que también mejora algunas de sus propiedades, como su resistencia y durabilidad (Kou and Poon, 2014).

Asimismo, se han desarrollado nuevos diseños y formas de block de concreto para aumentar su eficiencia energética y reducir su huella de carbono. Por ejemplo, se han creado bloques con una mayor capacidad de aislamiento térmico para reducir la necesidad de calefacción y refrigeración en edificios, lo que disminuye el consumo de energía y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero (Rincón et al., 2018).

Además, se han implementado nuevas técnicas de producción que permiten la fabricación de bloques con menor cantidad de cemento, reduciendo así su impacto ambiental. Por ejemplo, el uso de aditivos químicos y cenizas volantes puede disminuir la cantidad de cemento necesaria en la producción de block de concreto sin afectar su resistencia (Safari et al., 2018).

El block de concreto continúa evolucionando para adaptarse a las nuevas exigencias en la construcción sostenible y reducir su impacto ambiental, mediante la incorporación de materiales reciclados, nuevos diseños y formas, y técnicas de producción más eficientes y sostenibles.

B. Máquinas de fabricar el block

Una máquina de fábrica de bloques es una máquina industrial utilizada para producir bloques de concreto de manera automatizada. Este tipo de máquinas están diseñadas para producir grandes cantidades de bloques de concreto de forma rápida y eficiente, lo que reduce los costos de producción y aumenta la velocidad de producción.

Las máquinas de fábrica de bloques están compuestas por una serie de componentes, incluyendo un sistema de mezclado de materiales, un sistema de moldeo, un sistema de alimentación y un sistema de transporte. El sistema de mezclado de materiales combina los ingredientes de la mezcla de concreto, mientras que el sistema de moldeo forma los bloques de concreto. El sistema de alimentación suministra los materiales a la máquina y el sistema de transporte mueve los bloques producidos a una zona de almacenamiento.

Las máquinas de fábrica de bloques tienen varias ventajas en comparación con la producción de bloques de concreto de forma manual. En primer lugar, son más eficientes, ya que pueden producir grandes cantidades de bloques en un período de tiempo mucho más corto. Además, reducen los costos de producción y mejoran la calidad de los bloques producidos, ya que utilizan mezclas precisas y uniformes de materiales.

Sin embargo, existen también algunos desafíos asociados con la utilización de máquinas de fábrica de bloques. En primer lugar, pueden ser costosas de adquirir y mantener, lo que puede ser un obstáculo para algunas empresas o individuos. Además, requieren una gran cantidad de energía y pueden ser contaminantes si no se utilizan de forma adecuada.

Las máquinas de fábrica de bloques son una herramienta valiosa para la producción de bloques de concreto de manera automatizada. Aunque pueden ser costosas, ofrecen una mayor eficiencia y una reducción de costos a largo plazo, y pueden mejorar la calidad de los bloques producidos.

1. Máquinas artesanales para fabricar el block

Es un tipo de máquina utilizada para producir bloques de concreto de manera manual o semiautomática. Estas máquinas son más pequeñas y simples que las máquinas industriales y están diseñadas para producir bloques en cantidades más reducidas, especialmente para uso en proyectos pequeños o en zonas remotas donde no se dispone de acceso a máquinas industriales.

La máquina artesanal para fábrica de bloques suele ser operada por una o dos personas y está compuesta por una serie de componentes, incluyendo un sistema de mezclado de materiales, un sistema de moldeo y un sistema de transporte. El sistema de mezclado de materiales combina los ingredientes de la mezcla de concreto y el sistema de moldeo forma los bloques de concreto. El sistema de transporte se utiliza para mover los bloques producidos a una zona de almacenamiento.

Las máquinas artesanales para fábricas de bloques ofrecen una alternativa económica a las máquinas industriales y son especialmente útiles para proyectos pequeños o para la producción de bloques en zonas remotas. Sin embargo, también existen algunos desafíos asociados con su uso, incluyendo una menor eficiencia y una producción más limitada de bloques.

Las máquinas artesanales para fábricas de bloques son una alternativa económica y útil para la producción de bloques de concreto en proyectos pequeños o en zonas remotas. Aunque no son tan eficientes como las máquinas industriales, pueden ser una opción viable para aquellos con necesidades más reducidas de producción de bloques de concreto.

A pesar de sus ventajas, las máquinas artesanales para fábricas de bloques también presentan algunos desafíos. En primer lugar, su capacidad de producción es mucho menor en comparación con las máquinas industriales, lo que puede limitar su capacidad para satisfacer la demanda en proyectos de construcción más grandes. Además, pueden requerir más mantenimiento y atención que las máquinas industriales, lo que puede resultar en interrupciones en la producción

Las máquinas de blocks artesanales eran máquinas fabricadas de hierro, semi-automáticas, operadas por un operador, que por medio de vibraciones y de un molde con la mezcla de concreto formaban dos unidades de block cada dos minutos.



*Ilustración 8. Muestra la máquina artesanal de fabricación de block.
Imagen obtenida de archivos de la blockera Rey Block.*

a. Características y funciones

Algunas de las características más importantes de las máquinas artesanales para fábricas de bloques incluyen:

- **Tamaño compacto:** Las máquinas artesanales para fábricas de bloques son más pequeñas en comparación con las máquinas industriales, lo que las hace más fáciles de transportar y utilizar en pequeñas o medianas áreas de producción.

- **Fácil operación:** Estas máquinas están diseñadas para ser fáciles de usar, incluso para aquellos sin experiencia previa en el uso de maquinaria pesada.
- **Costo asequible:** Las máquinas artesanales para fábricas de bloques son más accesibles en términos de costo, lo que las hace más asequibles para aquellos que no cuentan con un presupuesto significativo para invertir en maquinaria industrial.

Entre las funciones más importantes de las máquinas artesanales para fábricas de bloques se incluyen:

- **Mezcla de materiales:** La máquina mezcla los materiales necesarios para fabricar los bloques de concreto, como cemento, arena, gravilla y agua.
- **Moldeado:** La máquina utiliza un molde para dar forma a los bloques de concreto.
- **Compactación:** La máquina utiliza una presión mecánica para compactar los materiales y dar forma a los bloques de concreto.
- **Desmoldeo:** La máquina retira los bloques de concreto del molde y los prepara para el secado y la curación.

Las máquinas artesanales para fábricas de bloques son dispositivos que ofrecen una alternativa económica y accesible para la fabricación de bloques de concreto. Con sus características y funciones diseñadas para facilitar su uso, estas máquinas son ideales para pequeños negocios o proyectos de construcción en comunidades remotas o rurales.

2. Componentes de la máquina de fabricar block

Las máquinas de fabricación de bloques están compuestas por diferentes componentes que pueden variar según el tipo de máquina y su fabricante. Sin embargo, algunos componentes comunes de estas máquinas incluyen:

- **Molde:** Es el componente que define la forma y tamaño del bloque a fabricar. Según el artículo de Rana y Singh (2018), el molde se puede fabricar en diferentes materiales, como acero o aluminio, y puede tener diferentes diseños según el tipo de bloque que se quiera fabricar.
- **Sistema de vibración:** Es el sistema encargado de aplicar vibraciones al molde para compactar y nivelar el material en su interior. Según el artículo de Ghumare et al. (2019), la vibración permite que el material se asiente mejor en el molde, mejorando así la calidad del bloque.
- **Caja de distribución de materiales:** Es el componente que se encarga de distribuir el material que se va a compactar en el molde. Según el artículo de Rana y Singh (2018), la caja de distribución puede tener diferentes diseños según el tipo de máquina y de bloque que se vaya a fabricar.

- Sistema de control de vibración: Es el sistema encargado de controlar la intensidad y frecuencia de las vibraciones aplicadas al molde. Según el artículo de Jain (2015), el control de vibración puede mejorar la calidad del bloque y reducir el tiempo de fabricación.

Además de los componentes comunes ya mencionados, las máquinas de fabricar bloques pueden incluir otros componentes que dependen del tipo de máquina y su fabricante. Algunos de estos componentes adicionales son:

- Sistema de mezclado: Es el sistema encargado de mezclar los materiales que se van a compactar en el molde. Según el artículo de Parashar y Arya (2018), algunos sistemas de mezclado utilizan tecnologías avanzadas, como mezcladoras planetarias o de alta velocidad, para garantizar una mezcla homogénea.
- Sistema de transporte: Es el sistema encargado de transportar los bloques desde la máquina hasta un área de almacenamiento o carga. Según el artículo de Efe et al. (2017), algunos sistemas de transporte utilizan cintas transportadoras o carros automáticos para optimizar el proceso de carga y descarga.
- Sistema de curado: Es el sistema encargado de curar los bloques después de ser fabricados. Según el artículo de Kothai et al. (2016), algunos sistemas de curado utilizan cámaras de vapor o aire caliente para acelerar el proceso de curado y garantizar la resistencia del bloque.
- Sistema de alimentación eléctrica: Es el sistema encargado de alimentar eléctricamente a la máquina de fabricar bloques. Según el artículo de Muthukumar et al. (2019), algunos sistemas de alimentación eléctrica utilizan paneles solares o generadores eólicos para reducir el consumo de energía y los costos operativos.

Otro componente importante de las máquinas de fabricar bloques es el sistema de compactación, que se encarga de compactar los materiales que se han mezclado en el molde para producir el bloque. Según el artículo de Duggal et al. (2019), existen diferentes tipos de sistemas de compactación, como la compactación por vibración o por presión hidráulica.

El sistema de vibración utiliza un vibrador para aplicar vibraciones al molde, lo que ayuda a compactar los materiales. Por otro lado, el sistema de presión hidráulica utiliza un pistón hidráulico para aplicar una presión uniforme sobre los materiales en el molde, lo que permite obtener bloques más resistentes y precisos.

Además, algunas máquinas de fabricación de bloques pueden tener sistemas de automatización que permiten un mayor control y precisión en el proceso de fabricación. Según el artículo de El-Hawary et al. (2020), los sistemas de automatización pueden incluir

sensores para medir la humedad y la densidad de los materiales, sistemas de control de temperatura y programas informáticos para ajustar los parámetros de fabricación.

Otro aspecto importante a considerar es la calidad de los materiales utilizados en la fabricación de las máquinas de bloques. Según el artículo de Sathish et al. (2018), es fundamental utilizar materiales resistentes y duraderos, como acero de alta calidad, para garantizar una larga vida útil de la máquina.

a. Importancia del uso de la máquina de fabricar block en la construcción

La máquina de fabricar block es un equipo fundamental en la construcción, ya que permite la producción en masa de bloques de concreto, que son utilizados en la construcción de muros, paredes y otros elementos estructurales. Según Saadatmanesh y Reinhardt (1994), el uso de bloques de concreto en la construcción ha aumentado significativamente debido a su bajo costo, durabilidad y facilidad de construcción. La utilización de la máquina de fabricar block permite la producción rápida y eficiente de estos bloques, reduciendo el costo y tiempo de construcción.

Además, según Yilmaz y Marar (2015), la utilización de bloques de concreto en la construcción también es beneficioso para el medio ambiente, ya que reduce la cantidad de madera y otros materiales no renovables utilizados en la construcción. Asimismo, la fabricación de bloques de concreto mediante el uso de la máquina de fabricación block es más eficiente y menos contaminante que la fabricación de bloques a mano.

La utilización de la máquina de fabricar block también permite la producción de bloques de concreto con una mayor precisión y consistencia en cuanto a su tamaño y forma. Según Khan et al. (2019), esto reduce el desperdicio de material y permite una construcción más precisa y uniforme. Además, los bloques de concreto producidos por la máquina de fabricar block tienen una mayor resistencia y durabilidad, lo que los hace ideales para su uso en la construcción de estructuras.

b. Estructura principal

La estructura principal es uno de los componentes principales de la máquina de fabricar block y es fundamental para garantizar la estabilidad y precisión de la máquina durante su operación. Según Al-Mutairi y Al-Qahtani (2018), la estructura principal de la máquina de fabricar block debe ser diseñada para soportar las cargas generadas durante el proceso de fabricación de bloques, así como para resistir la vibración generada por la máquina.

En general, la estructura principal de la máquina de fabricar block se compone de una base, una columna y un cabezal. La base es la parte inferior de la estructura y es la que se apoya en el suelo. La columna es la parte vertical de la estructura que conecta la base con el cabezal, y es la que soporta la mayor parte del peso de la máquina. El cabezal es la parte superior de la estructura y es la que contiene los componentes necesarios para la fabricación de bloques, como el molde, el compresor y el sistema de vibración.

La estructura principal debe ser diseñada con materiales de alta resistencia, como acero o hierro fundido, para garantizar la estabilidad de la máquina y la precisión en la fabricación de bloques. Además, según Al-Mutairi y Al-Qahtani (2018), la rigidez de la estructura principal es fundamental para evitar la deformación de la máquina durante su operación, lo que puede afectar la calidad de los bloques fabricados.

La estructura principal de la máquina de fabricar block es uno de los componentes más importantes de la máquina, ya que garantiza la estabilidad, precisión y rigidez necesarias para la fabricación de bloques de alta calidad. Por lo tanto, el diseño y los materiales utilizados en la estructura principal deben ser cuidadosamente seleccionados para garantizar su eficiencia y durabilidad durante su operación.

c. Molde principal

El molde es un componente fundamental en la máquina de fabricar block, ya que es el encargado de dar forma y tamaño a los bloques de concreto durante su fabricación. Según Ma et al. (2019), el diseño y la calidad del molde son cruciales para garantizar la precisión y uniformidad de los bloques producidos, así como para minimizar el tiempo y el costo de producción.

Los moldes para la fabricación de bloques de concreto suelen estar hechos de acero o aluminio, y se pueden dividir en dos categorías principales: fijos y móviles. Los moldes fijos están diseñados para producir un solo tamaño y forma de bloque, mientras que los moldes móviles permiten la producción de diferentes tamaños y formas de bloques mediante la manipulación de las placas laterales del molde.

Además, según Fattah et al. (2021), los moldes también deben ser diseñados para soportar las cargas generadas durante el proceso de fabricación de bloques, como la presión y la vibración, y deben ser resistentes a la abrasión y la corrosión para garantizar su durabilidad y larga vida útil.

Es importante mencionar que la calidad del molde también influye en la calidad final de los bloques de concretos fabricados. Según Ma et al. (2019), los moldes deben tener una superficie suave y uniforme para garantizar una buena apariencia de los bloques, así como una resistencia adecuada para evitar deformaciones o roturas durante su fabricación.

d. Compresor

El compresor es un componente clave en la máquina de fabricar block, ya que es el encargado de proporcionar la presión necesaria para compactar el concreto dentro del molde y formar el bloque. Según Ríos et al. (2018), el diseño y la calidad del compresor son fundamentales para garantizar una compactación adecuada del concreto y, por lo tanto, la calidad de los bloques producidos.

En general, los compresores utilizados en la fabricación de bloques de concreto son de dos tipos: hidráulicos y neumáticos. Los compresores hidráulicos utilizan aceite para generar la presión necesaria para compactar el concreto, mientras que los compresores neumáticos utilizan aire comprimido para el mismo propósito.

Según Afolabi et al. (2019), la elección del tipo de compresor dependerá de varios factores, como el tamaño de la máquina, la frecuencia de uso y el presupuesto disponible. En general, los compresores hidráulicos son más adecuados para máquinas de mayor tamaño y frecuencia de uso, mientras que los compresores neumáticos son más adecuados para máquinas más pequeñas y de uso ocasional.

Además, según Ríos et al. (2018), el compresor debe ser diseñado para proporcionar una presión uniforme y constante durante todo el proceso de fabricación de bloques, y debe ser capaz de ajustar la presión en función del tipo de concreto utilizado y del tamaño y forma del bloque a fabricar.

e. Sistema de alimentación de material

El sistema de alimentación de material es otro componente importante en la máquina de fabricar block, ya que es el encargado de proporcionar el material necesario (generalmente arena, cemento, agua y aditivos) para la fabricación de los bloques. Según Gomaa et al. (2017), el diseño y la calidad del sistema de alimentación de material pueden tener un impacto significativo en la calidad y consistencia de los bloques producidos.

En general, existen dos tipos de sistemas de alimentación de material utilizados en la fabricación de bloques de concreto: sistemas manuales y sistemas automáticos. Los

sistemas manuales requieren que el operador agregue manualmente cada uno de los componentes (arena, cemento, agua y aditivos) en cantidades predefinidas en un mezclador. Por otro lado, los sistemas automáticos son capaces de medir y agregar automáticamente los componentes en las cantidades necesarias para cada mezcla.

Según Gomaa et al. (2017), los sistemas automáticos son más precisos y eficientes que los sistemas manuales, ya que reducen el error humano y aseguran que cada mezcla tenga las cantidades exactas de cada componente. Además, los sistemas automáticos pueden ser programados para producir diferentes tipos de mezclas según las necesidades del cliente.

f. Sistema de vibración

El sistema de vibración es uno de los componentes principales en la máquina de fabricar block. Su función es compactar la mezcla de materiales (cemento, arena, agua, aditivos) dentro del molde, lo que permite la formación de un bloque sólido y resistente. Según Fang et al. (2021), el sistema de vibración puede afectar significativamente la calidad de los bloques producidos.

Existen diferentes tipos de sistemas de vibración utilizados en la fabricación de bloques de concreto. Uno de los sistemas más comunes es el sistema de vibración eléctrico, que utiliza un motor eléctrico para generar vibraciones en el molde. Otro sistema común es el sistema de vibración hidráulico, que utiliza un motor hidráulico para generar vibraciones.

Según Chiang et al. (2018), la frecuencia y amplitud de las vibraciones son factores críticos que afectan la calidad de los bloques producidos. Un exceso de vibración puede hacer que la mezcla se compacte demasiado y produzca un bloque quebradizo, mientras que una falta de vibración puede producir bloques porosos y débiles. Por lo tanto, es importante ajustar la frecuencia y amplitud de las vibraciones para asegurar una compactación adecuada de la mezcla.

Además, según Fang et al. (2021), la forma del molde y la posición del sistema de vibración también pueden influir en la calidad de los bloques producidos. Un molde con una forma irregular puede producir bloques con superficies deformadas, mientras que una posición inadecuada del sistema de vibración puede producir bloques con áreas no compactadas.

g. Sistema de corte

El sistema de corte es otro componente importante de la máquina de fabricar block, ya que se encarga de cortar los bloques de concreto de la mezcla compactada en el molde en piezas individuales. Este sistema puede estar integrado en la propia máquina o puede ser un componente independiente.

Existen diferentes tipos de sistemas de corte utilizados en la fabricación de bloques de concreto, como el sistema de corte con hilo caliente, el sistema de corte con disco diamantado y el sistema de corte con cuchillas. Según Al-Qadi et al. (2019), el sistema de corte con hilo caliente es uno de los sistemas más comunes y se utiliza para cortar bloques de concreto fresco en piezas individuales.

Según Deng et al. (2020), la velocidad y la precisión del sistema de corte son factores críticos que afectan la calidad de los bloques producidos. Un corte demasiado rápido o impreciso puede producir bloques con bordes irregulares o fracturas en la superficie, lo que reduce la resistencia y la durabilidad del bloque.

Además, según Li et al. (2020), la selección de la herramienta de corte y su mantenimiento también son factores importantes para asegurar una producción de calidad. Una herramienta desgastada o mal mantenida puede producir un corte impreciso o desigual, lo que afecta negativamente la calidad de los bloques producidos.

h. Funcionamiento de los componentes de la máquina de fabricar block

La estructura principal de la máquina de fabricar block es el marco que sostiene y soporta todos los demás componentes de la máquina, incluyendo el molde, el sistema de compresión, el sistema de alimentación de material, el sistema de vibración y el sistema de corte.

Según Khan y Siddique (2018), la estructura principal de la máquina de fabricar block está hecha típicamente de acero o hierro fundido para proporcionar una gran resistencia y durabilidad. La estructura debe ser lo suficientemente resistente para soportar las vibraciones y las cargas que se generan durante el proceso de fabricación de bloques.

Además, según Saravanan y Balaji (2019), la estructura principal de la máquina de fabricar block también debe ser lo suficientemente rígida para minimizar la deflexión y la deformación durante la operación. La deflexión puede afectar negativamente la precisión y la calidad de los bloques producidos.

Por lo tanto, la rigidez y la resistencia de la estructura principal son factores críticos que afectan la calidad de los bloques producidos por la máquina de fabricar block. Según El-Sayed et al. (2018), se ha demostrado que una estructura más rígida puede producir bloques de mayor calidad y con una resistencia a la compresión más alta.

La estructura principal es un componente crítico de la máquina de fabricar block, ya que soporta y sostiene todos los demás componentes de la máquina. La resistencia y la rigidez de la estructura son factores críticos que afectan la calidad de los bloques producidos. La estructura está típicamente hecha de acero o hierro fundido para proporcionar una gran resistencia y durabilidad.

El molde es uno de los componentes más importantes de la máquina de fabricar block, ya que es el encargado de dar forma y tamaño a los bloques de concreto. Por lo tanto, es crucial que el diseño del molde sea adecuado para garantizar la calidad y la precisión de los bloques producidos.

Según Khan y Siddique (2018), el diseño del molde debe ser compatible con las dimensiones y las especificaciones de la máquina de fabricar block, y debe tener una estructura sólida y resistente para soportar las cargas y las vibraciones generadas durante el proceso de fabricación. Además, el molde debe ser fácil de desmontar y limpiar, y debe permitir la fácil extracción de los bloques sin dañarlos.

En cuanto a la forma de los bloques, existen diversos tipos de moldes según el diseño del bloque requerido. Según Saravanan y Balaji (2019), algunos de los moldes más comunes son los moldes para bloques macizos, moldes para bloques huecos, moldes para bloques de borde, moldes para bloques de esquina y moldes para bloques de pavimentación.

Además, el diseño del molde también puede afectar la textura y la apariencia de los bloques. Según Naveed et al. (2018), se han desarrollado moldes con superficies texturizadas y grabados para crear bloques con una apariencia más atractiva y mejorada.

Según Al-Ghazali et al. (2019), la presión del compresor debe ser lo suficientemente alta para asegurar una compactación uniforme del material, eliminando así los huecos y las burbujas de aire que pueden reducir la resistencia del block. La presión recomendada para

el compresor oscila entre los 50 y los 150 kg/cm², dependiendo del tipo de block que se desea producir y de las especificaciones de la máquina de fabricar block.

i. Mantenimiento de la máquina de fabricar block

Según Gharaibeh et al. (2018), el mantenimiento preventivo es fundamental en la máquina de fabricar block para evitar fallas inesperadas y reducir el tiempo de inactividad. Este tipo de mantenimiento incluye la limpieza regular de la máquina, la lubricación de las partes móviles y la verificación de la presión y la velocidad del compresor, entre otras cosas. Realizar un mantenimiento preventivo adecuado ayuda a detectar problemas temprano y evitar costosas reparaciones.

El mantenimiento correctivo también es importante para solucionar problemas inesperados que puedan surgir en la máquina. Según Khan et al. (2021), los problemas más comunes que pueden presentarse en la máquina de fabricar block son la obstrucción de las tuberías, el desgaste de las piezas móviles y la avería del compresor. Estos problemas pueden afectar la calidad del block y la productividad de la máquina, por lo que es importante solucionarlos de manera oportuna.

Además, el mantenimiento de la máquina de fabricar block también es importante para asegurar la seguridad del personal que la opera. Según Oliveira et al. (2020), es necesario capacitar al personal en el mantenimiento básico de la máquina y proporcionarles equipo de protección personal para prevenir accidentes laborales. El mantenimiento adecuado de la máquina puede ayudar a prevenir fallas que puedan poner en peligro la seguridad del personal.

Además, la velocidad del compresor también es importante para el proceso de fabricación de block. Según Kumar y Patil (2018), una velocidad de compresión lenta permite que el material se distribuya de manera uniforme y se compacte adecuadamente, lo que aumenta la resistencia del block. Por otro lado, una velocidad de compresión demasiado rápida puede generar vibraciones excesivas que afectan la calidad del block y disminuyen su resistencia.

Otro factor importante que influye en la resistencia del block es el mantenimiento adecuado del compresor. Según Saadatmand et al. (2019), un compresor en mal estado puede generar presiones inestables o insuficientes, lo que puede generar bloques con fisuras y una resistencia inferior a la requerida. Por lo tanto, es fundamental realizar un mantenimiento regular del compresor, que incluya la limpieza de los filtros y la lubricación de las partes móviles.

El funcionamiento adecuado del compresor es fundamental para la calidad y la resistencia del block de concreto fabricado con la máquina de fabricar block. La presión y la velocidad del compresor deben ser adecuadas y uniformes para garantizar una compactación uniforme del material y eliminar los huecos y las burbujas de aire que pueden disminuir la resistencia del block. Además, es crucial realizar un mantenimiento regular del compresor para evitar fallas y asegurar la calidad de los bloques producidos.

Las reparaciones de averías en la máquina de fabricar block son necesarias para mantener su correcto funcionamiento y evitar interrupciones en el proceso de producción. Según Xu et al. (2020), las averías en la máquina de fabricar block pueden ser causadas por diversos factores, como el desgaste de las piezas, la falta de lubricación, la acumulación de suciedad y la sobrecarga de la máquina.

Las reparaciones de averías pueden variar en complejidad, desde tareas simples como la sustitución de una correa o la limpieza de una pieza, hasta reparaciones más complejas que requieren el desmontaje y sustitución de varias piezas de la máquina. Según Zhang et al. (2019), algunas de las averías más comunes en la máquina de fabricar block incluyen la rotura de la correa, la falla del sistema de vibración y la obstrucción del sistema de alimentación de material.

Es importante llevar a cabo las reparaciones de averías de manera oportuna para minimizar el tiempo de inactividad de la máquina y evitar que la avería se agrave y afecte otras partes de la máquina. Según Khan et al. (2021), una estrategia efectiva para las reparaciones de averías es la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo, que utiliza datos de sensores y análisis de datos para predecir posibles averías y realizar reparaciones antes de que ocurran.

Además, es importante llevar a cabo las reparaciones de averías por personal capacitado y con experiencia en el mantenimiento de la máquina de fabricar block. De acuerdo con Yang et al. (2020), la falta de experiencia y conocimiento técnico puede llevar a errores en el proceso de reparación y causar daños adicionales a la máquina.

3. Máquina industrial para fabricación de block

Las máquinas industriales para fábricas de bloques son equipos diseñados para fabricar bloques de concreto de manera eficiente y en grandes cantidades. Estas máquinas están diseñadas para uso comercial e industrial, están equipadas con características y funciones avanzadas para mejorar su desempeño.

Entre las funciones más importantes de las máquinas industriales para fábricas de bloques se incluyen:

- Mezcla de materiales: La máquina mezcla los materiales necesarios para fabricar los bloques de concreto, como cemento, arena, gravilla y agua.
- Moldeado: La máquina utiliza un molde para dar forma a los bloques de concreto.
- Compactación: La máquina utiliza una presión mecánica para compactar los materiales y dar forma a los bloques de concreto.
- Desmoldeo: La máquina retira los bloques de concreto del molde y los prepara para el secado y la curación.
- Control de calidad: Las máquinas industriales para fábricas de bloques están equipadas con sistemas de control de calidad que monitorean el proceso de producción para garantizar la calidad de los bloques de concretos fabricados.

Las máquinas industriales para fábricas de bloques son equipos diseñados para fabricar bloques de concreto de manera eficiente y en grandes cantidades. Con sus características y funciones avanzadas, estas máquinas son ideales para empresas de construcción y para proyectos de construcción en gran escala.

Hoy en la actualidad para que el tipo de block sea competente debe ser fabricado con máquinas industriales las cuales son controlados por PLC, un sistema hidráulico, neumático o bien eléctrico, estas máquinas están hechas con aceros específicos para asegurar durabilidad y las compactaciones necesarias que requiere el concreto para que tenga las especificaciones del cliente requiera. En la actualidad existen muchos fabricantes de estas marcas, podríamos mencionar tres: Zenith, Poyatos y Qunfeng. La instalada en la planta es la QFT 10-15 de la marca Qunfeng.

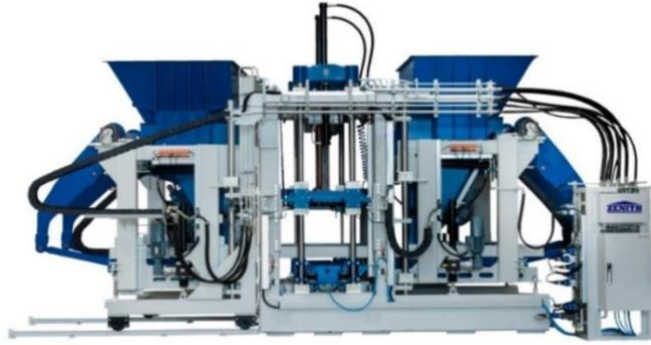


Ilustración 9. Máquina alemana Zenith para fabricación de block.
Imagen obtenida de <http://www.zenith.de/images/layout/slide01.jpg>



Ilustración 10. Máquina española Poyatos para fabricación de block.
Imagen obtenida de <http://www.pascualblanch.com/images/maquinaria/POYATOS/universal.jpg>



Ilustración 11. Máquina china Qunfeng para fabricación de block.
Imagen obtenida de <http://image.made-in-china.com/2f0j10unQaeLPGJcqv/Qunfeng-Block-Machine-Brick-Ma.jpg>

a. Características

Algunas de las características más importantes de las máquinas industriales para fábricas de bloques incluyen:

- **Tamaño:** Las máquinas industriales para fábricas de bloques son más grandes y potentes que las máquinas artesanales, lo que les permite fabricar bloques de concreto en grandes cantidades.
- **Eficiencia:** Estas máquinas están diseñadas para ser más eficientes en términos de producción, lo que les permite fabricar bloques de concreto más rápidamente y con una mayor calidad.
- **Automatización:** Las máquinas industriales para fábricas de bloques están automatizadas, lo que significa que pueden funcionar sin supervisión directa y reducir así los costos de mano de obra.
- **Control de calidad:** Las máquinas industriales para fábricas de bloques están equipadas con sistemas de control de calidad que monitorean el proceso de producción para garantizar la calidad de los bloques de concretos fabricados.
- **Personalización:** Las máquinas industriales para fábricas de bloques pueden personalizarse para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto, lo que permite una mayor flexibilidad y eficiencia en la producción de bloques de concreto.
- **Durabilidad:** Estas máquinas están fabricadas con materiales de alta calidad y diseñadas para ser resistentes y duraderas, lo que les permite funcionar de manera confiable durante años.

Las máquinas industriales para fábricas de bloques son equipos de alta tecnología que ofrecen una serie de características avanzadas que las hacen ideales para uso en la industria de la construcción. Con su eficiencia, automatización y control de calidad, estas máquinas son esenciales para garantizar una producción eficiente y de alta calidad de bloques de concreto.

4. Máquina de bloques de alta densidad

Las máquinas de bloques de alta densidad en Guatemala son una opción ideal para aquellos que buscan producir bloques de concreto de alta resistencia para proyectos de construcción más exigentes. Estas máquinas utilizan una técnica especial de compactación para lograr una mayor densidad en los bloques, lo que les permite soportar cargas más pesadas y ofrecer una mayor resistencia al desgaste.

Generalmente se utilizan para la producción de bloques para muros de contención, paredes de sótanos, pisos y techos de concreto, así como para otros proyectos que requieren una alta resistencia y durabilidad. Estas máquinas están diseñadas para producir bloques de diferentes tamaños y formas, y pueden personalizarse según las necesidades específicas del cliente.

Están disponibles en varias opciones, como máquinas manuales, semiautomáticas y completamente automáticas. Estas máquinas utilizan una combinación de presión hidráulica y vibración para compactar el concreto y lograr una mayor densidad en los bloques. Además, algunas máquinas también incluyen sistemas de corte para cortar los bloques a la medida deseada.

Es importante tener en cuenta que las máquinas de bloques de alta densidad pueden ser más costosas que otras opciones de máquinas de bloques en Guatemala, debido a su capacidad de producción y la calidad de los bloques que producen. Sin embargo, para aquellos que buscan producir bloques de alta calidad y resistencia, estas máquinas pueden ser una inversión valiosa en su negocio de construcción.

Entre las funciones más importantes de las máquinas de bloques de alta densidad se incluyen:

- **Compresión hidráulica:** la máquina utiliza un sistema hidráulico para comprimir el concreto dentro del molde y producir bloques de alta densidad. Este proceso permite una compactación uniforme del material, lo que da como resultado bloques más resistentes y duraderos.
- **Vibración de alta frecuencia:** la máquina también utiliza un sistema de vibración de alta frecuencia que ayuda a compactar aún más el concreto y eliminar el aire atrapado dentro del molde. Esta vibración ayuda a producir bloques con una mayor densidad y una superficie más lisa y uniforme.
- **Corte preciso:** algunas máquinas de bloques de alta densidad también tienen la capacidad de cortar los bloques a la medida deseada. Esto permite una producción más eficiente y reduce los desperdicios de materiales.
- **Control automatizado:** muchas máquinas de bloques de alta densidad tienen un sistema de control automatizado que permite una producción más eficiente y precisa. Estos sistemas pueden programarse para producir bloques de diferentes tamaños y formas, lo que permite una mayor flexibilidad en la producción.
- **Producción en masa:** las máquinas de bloques de alta densidad tienen la capacidad de producir una gran cantidad de bloques en poco tiempo, lo que

permite una producción en masa y una mayor eficiencia en el proceso de construcción.

Las funciones más importantes de la máquina de bloques de alta densidad son la compresión hidráulica, la vibración de alta frecuencia, el corte preciso, el control automatizado y la capacidad de producción en masa. Estas características hacen que estas máquinas sean ideales para proyectos de construcción que requieren bloques de alta calidad y resistencia.

a. características

Algunas de las características más importantes de las máquinas de bloques de alta densidad incluyen:

- **Producción de bloques de alta densidad:** la principal característica de estas máquinas es la capacidad de producir bloques de concreto de alta densidad. Esto se logra mediante un proceso de compactación hidráulica y vibración de alta frecuencia que produce bloques más resistentes y duraderos.
- **Personalización:** las máquinas de bloques de alta densidad en Guatemala están disponibles en diferentes tamaños y capacidades de producción, lo que permite a los clientes personalizarlas según sus necesidades específicas. Además, estas máquinas pueden fabricar bloques en diferentes formas y tamaños según los requerimientos del proyecto.
- **Tecnología avanzada:** estas máquinas utilizan tecnología avanzada para la producción de bloques, lo que permite una mayor precisión y eficiencia en el proceso de producción. Además, muchas de estas máquinas tienen sistemas de control automatizados que permiten una mayor eficiencia y precisión en la producción.
- **Durabilidad:** las máquinas de bloques de alta densidad en Guatemala están diseñadas para ser duraderas y resistir el desgaste del uso constante. Están construidas con materiales de alta calidad y están diseñadas para soportar una producción intensiva y prolongada.
- **Eficiencia en el uso de materiales:** estas máquinas están diseñadas para utilizar la cantidad justa de materiales necesarios para producir cada bloque, lo que reduce el desperdicio de materiales y aumenta la eficiencia en el proceso de producción.

Las características más importantes de la máquina de bloques de alta densidad en Guatemala son la producción de bloques de alta densidad, la personalización, la tecnología avanzada, la durabilidad, la eficiencia en el uso de materiales y el bajo costo de operación. Estas características hacen que estas máquinas sean ideales para proyectos de construcción que requieren bloques de alta calidad y resistencia.



Ilustración 12. Máquina de fabricación de block de hormigón de alta densidad.
 Imagen obtenida de https://es.made-in-china.com/co_quangong/product_High-Density-Economical-Type-Automatic-Concrete-Brick-Making-Machine_hyssoeyug.html

C. Controladores industriales

Los controladores industriales son dispositivos electrónicos que se utilizan para controlar y supervisar procesos industriales. Estos controladores se utilizan para automatizar y mejorar la eficiencia de los procesos de producción, logrando una mayor calidad y un menor tiempo de producción. Son una parte importante de la automatización de procesos industriales, y pueden mejorar la eficiencia y la calidad de los productos, pueden reducir los costos y mejorar la seguridad.

Existen muchos tipos diferentes de controladores industriales, incluyendo controladores lógicos programables (PLC), unidades de control numérico (CNC), controladores de sistemas de automatización de fábricas (FACS), entre otros. Estos controladores pueden utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones industriales, incluyendo la producción de alimentos y bebidas, la fabricación de productos químicos, la producción de productos electrónicos, la fabricación de productos textiles y la producción de productos de papel y cartón.

Es importante conocer que, los controladores industriales se programan utilizando lenguajes de programación específicos y se conectan a los procesos industriales a través de sensores y actuadores. Los sensores miden las variables críticas de los procesos, como la temperatura, la presión y la velocidad, mientras que los actuadores controlan la operación de los procesos, como la apertura y cierre de válvulas, la regulación de la velocidad de motores y la activación de dispositivos de seguridad.

Además de mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos industriales, los controladores industriales también pueden ayudar a mejorar la seguridad en las fábricas. Por ejemplo, los controladores pueden ser programados para detener un proceso en caso de una falla o de una condición de seguridad insegura. También pueden ser programados para detener un proceso automáticamente en caso de una falla en un componente crítico.

Entonces puede decirse que, los controladores industriales son una parte importante de la automatización de procesos industriales y pueden mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad de los procesos. A medida que la tecnología avanza, la investigación continua en este campo que está permitiendo desarrollar controladores más avanzados y eficientes, lo que está impulsando el crecimiento y la innovación en la industria.

Es una computadora utilizada en la industria, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, están diseñados para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías, copias de seguridad o en memorias no volátiles. (Búrbano, 2016)

1. Tipos de controladores de industriales

- Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.
- PLC tipo Nano: Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales. (Edgar, 2016)
- PLC tipo Compactos: Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O), su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como: - Entradas y salidas análogas - Módulos contadores rápidos - Módulos de comunicaciones - Interfaces de operador - Expansiones de I/O. (Edgar, 2016)

- PLC tipo Modular: Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, estos son: - Rack - Fuente de Alimentación - CPU - Módulos de I/O De estos tipos de PLC existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de entradas y salida, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de entradas y salidas. (Edgar, 2016)

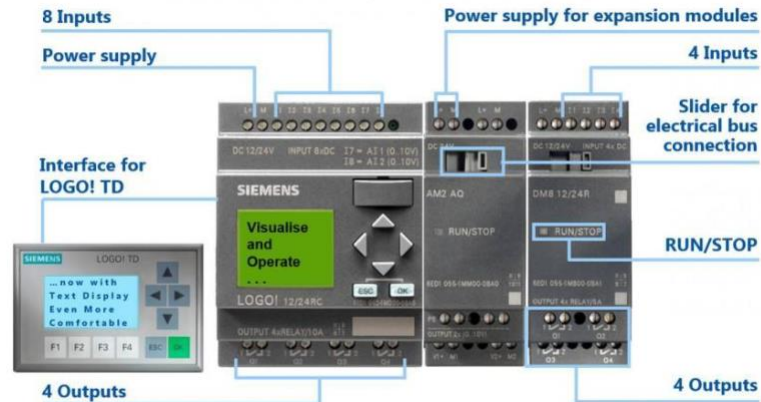


Ilustración 13. Controlador Lógico LOGO.

Imagen obtenida de http://webservices.my/supreme/wp-content/uploads/sites/15/2015/11/logo-plc-870x494_c.jpg

a. Controladores lógicos programables (PLC)

Los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos que permiten controlar procesos industriales mediante la programación de una secuencia de operaciones lógicas. Según A. González, "los PLC son considerados el cerebro de los sistemas de automatización industrial" (González, 2017).

Los PLC están diseñados para trabajar en entornos industriales adversos, donde pueden estar expuestos a altas temperaturas, vibraciones y ambientes corrosivos. De acuerdo con J. Smith, "los PLC son dispositivos robustos y confiables que pueden operar en condiciones extremas, lo que los hace ideales para su uso en la industria" (Smith, 2019).

Los PLC son altamente programables y pueden adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones industriales. Según M. García, "los PLC se utilizan comúnmente en el control de procesos de fabricación, como el control de líneas de ensamblaje, el control de robots y el control de sistemas de transporte" (García, 2018).

Además, los PLC son escalables y modulares, lo que permite a los usuarios agregar o quitar componentes según sea necesario para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria. Según K. Jones, "los PLC pueden ser programados y configurados para adaptarse a cualquier entorno industrial y se pueden actualizar o mejorar fácilmente para mantenerse al día con las tecnologías emergentes" (Jones, 2020).

Los controladores lógicos programables (PLC) son dispositivos electrónicos versátiles, robustos y altamente programables que permiten controlar procesos industriales en entornos adversos y cambiantes.

Una de las principales ventajas de los PLC es que son altamente programables, lo que significa que pueden ser personalizados para satisfacer las necesidades específicas de una aplicación. Según L. Rodríguez, "los PLC pueden ser programados para realizar una amplia variedad de tareas, desde el control de un solo motor hasta el control de procesos complejos" (Rodríguez, 2021).

Además, los PLC son dispositivos escalables y modulares, lo que significa que se pueden agregar o quitar módulos según sea necesario para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria. Según N. Torres, "los PLC pueden ser configurados para cumplir con las especificaciones exactas de una aplicación, y pueden ser actualizados o mejorados fácilmente para mantenerse al día con las tecnologías emergentes" (Torres, 2020).

Otra ventaja importante de los PLC es que son dispositivos robustos y confiables que pueden operar en condiciones adversas. Los PLC se diseñan para trabajar en entornos industriales hostiles, donde pueden estar expuestos a altas temperaturas, vibraciones y ambientes corrosivos. Según K. Sánchez, "los PLC están diseñados para soportar las condiciones extremas de los entornos industriales, lo que los convierte en una opción ideal para el control de procesos industriales" (Sánchez, 2019).

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, los controladores lógicos programables (PLC) también son dispositivos que ofrecen una mayor seguridad en el control de procesos industriales. Debido a que los PLC se pueden programar para realizar una variedad de tareas de manera automatizada, se pueden eliminar muchos riesgos de seguridad en el lugar de trabajo. Los PLC también tienen la capacidad de detectar errores y alarmas en los procesos en tiempo real, lo que permite una respuesta inmediata ante cualquier problema.

Por otro lado, los PLC también tienen la capacidad de integrarse con otros sistemas de automatización y control, como los sistemas de supervisión y control de procesos (SCADA). Esto permite una mayor eficiencia en la gestión de procesos y una mejor visualización de las operaciones industriales. Según J. Pérez, "los PLC y los sistemas SCADA trabajan en conjunto para proporcionar una vista completa de las operaciones industriales, lo que ayuda a identificar problemas y mejorar la eficiencia de la producción" (Pérez, 2022).

En cuanto a la programación de los PLC, existen diversos lenguajes de programación que se pueden utilizar, dependiendo de la aplicación y del fabricante del dispositivo. Algunos de los lenguajes más comunes son el lenguaje de escalera (Ladder), el lenguaje de funciones (Function Block Diagram), el lenguaje de secuencias de instrucciones (Sequential Function Chart), entre otros. La elección del lenguaje de programación adecuado dependerá del tipo de proceso que se esté controlando y de las preferencias del programador.

b. Controladores de lógica cableada

Los controladores de lógica cableada, también conocidos como relés, son dispositivos electrónicos utilizados en la industria para el control de procesos. Aunque han sido reemplazados en gran medida por los controladores lógicos programables (PLC), aún se utilizan en algunas aplicaciones industriales.

Según J. Martínez, "los controladores de lógica cableada son dispositivos simples que utilizan contactos y relés para controlar procesos. Son fáciles de usar y no requieren programación compleja" (Martínez, 2022).

Además, los controladores de lógica cableada son dispositivos confiables y duraderos. Según A. Pérez, "los controladores de lógica cableada son dispositivos mecánicos que no tienen componentes electrónicos, lo que los hace menos susceptibles a fallas electrónicas" (Pérez, 2021).

Sin embargo, los controladores de lógica cableada tienen limitaciones en comparación con los PLC. Según M. González, "los controladores de lógica cableada son dispositivos inflexibles que no pueden ser reconfigurados para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria" (González, 2020).

Otra desventaja importante de los controladores de lógica cableada es que requieren una gran cantidad de cableado, lo que aumenta el costo de la instalación y el mantenimiento. Según R. Torres, "los controladores de lógica cableada son dispositivos complejos que requieren una gran cantidad de cableado para su instalación, lo que puede ser costoso y difícil de mantener" (Torres, 2019).

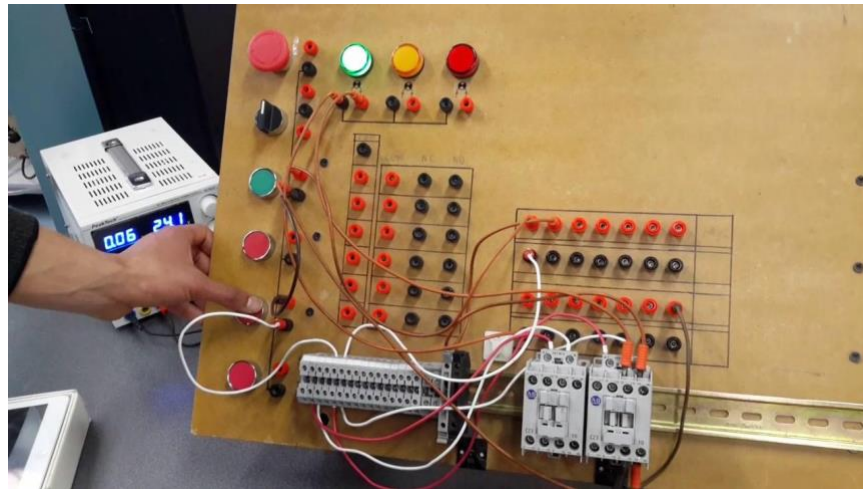


Ilustración 14 Controladores de lógica cableada.

Imagen obtenida de <https://sutilweb.com/wp-content/uploads/2022/07/Logica-cableada.jpg>

Además de las limitaciones mencionadas en el texto anterior, existen otras desventajas de los controladores de lógica cableada. Una de ellas es que la lógica de control debe ser construida físicamente en la instalación, lo que puede resultar en errores de cableado o conexiones incorrectas. Esto también puede aumentar el tiempo necesario para la instalación y la resolución de problemas.

Por otro lado, los controladores de lógica cableada también tienen limitaciones en términos de expansión. La adición de nuevas funciones o la modificación de la lógica de control existente puede requerir la reconfiguración completa del sistema, lo que puede ser un proceso costoso y tardado.

Además, los controladores de lógica cableada no tienen la capacidad de comunicarse con otros dispositivos, lo que significa que no pueden integrarse fácilmente con sistemas de control más grandes. Esto puede limitar su capacidad para formar parte de sistemas de automatización complejos.

A pesar de estas limitaciones, los controladores de lógica cableada siguen siendo ampliamente utilizados en algunas aplicaciones industriales, especialmente en entornos donde la simplicidad y la confiabilidad son más importantes que la flexibilidad y la capacidad de expansión. Algunos ejemplos de aplicaciones incluyen el control de luces, puertas, bombas y otros dispositivos en instalaciones industriales.

Es importante tener en cuenta que, aunque los controladores de lógica cableada han sido reemplazados en gran medida por los PLC, estos dispositivos siguen siendo una parte importante de la historia de la automatización industrial. Muchos ingenieros y técnicos de control industrial han trabajado con controladores de lógica cableada en el pasado y aún los utilizan en algunos proyectos.

Otra de las desventajas de los controladores de lógica cableada es que su capacidad de procesamiento es limitada en comparación con los PLC. Esto significa que no son adecuados para aplicaciones que requieren cálculos complejos o el procesamiento de grandes cantidades de datos en tiempo real.

En cuanto a la programación, los controladores de lógica cableada utilizan diagramas de circuitos para representar la lógica de control, lo que puede resultar difícil de entender para los ingenieros y técnicos que no están familiarizados con esta forma de programación. Además, los diagramas pueden ser difíciles de modificar una vez que se han construido físicamente, lo que limita la flexibilidad del sistema.

Sin embargo, los controladores de lógica cableada también tienen algunas ventajas en comparación con los PLC. Por ejemplo, son menos susceptibles a las interferencias electromagnéticas y a los fallos de software, ya que la lógica de control se implementa físicamente en la instalación. Además, no requieren una fuente de alimentación externa y pueden ser alimentados directamente desde la fuente de alimentación de la instalación.

En términos de costos, los controladores de lógica cableada suelen ser más baratos que los PLC, especialmente para aplicaciones simples y de baja complejidad. Además, no requieren software de programación o herramientas de diagnóstico, lo que puede reducir aún más los costos.

Aunque los controladores de lógica cableada tienen ciertas limitaciones en términos de flexibilidad y capacidad de expansión, siguen siendo una opción viable para aplicaciones simples y de baja complejidad en entornos industriales. Los ingenieros y técnicos deben considerar cuidadosamente las ventajas y desventajas de cada opción antes de seleccionar el sistema de control más adecuado para su aplicación específica.

c. Controladores PID

Los controladores PID, o controladores proporcionales-integrales-derivativos, son un tipo de controlador utilizado en sistemas de control de lazo cerrado para mantener una variable de proceso en un valor deseado.

Según Valdez (2018), los controladores PID son ampliamente utilizados en la industria debido a su simplicidad y eficacia. "La ventaja de los controladores PID es su capacidad para ajustar automáticamente los parámetros del sistema de control en tiempo real, lo que los hace extremadamente útiles en aplicaciones que requieren un control preciso y estable", afirma Valdez.

El controlador PID utiliza tres términos para controlar la variable de proceso: el término proporcional, el término integral y el término derivativo. Según Ramesh (2019), el término proporcional controla el error presente en el sistema en tiempo real, el término integral controla el error acumulado en el tiempo y el término derivativo controla la tasa de cambio del error. "La combinación de estos tres términos permite al controlador PID responder rápidamente a las perturbaciones en el sistema y ajustar la salida para mantener la variable de proceso en el valor deseado", explica Ramesh.

En cuanto a las aplicaciones de los controladores PID, pueden ser utilizados en una amplia variedad de sistemas de control de lazo cerrado, como el control de temperatura, presión, flujo y nivel. Según Hwang (2021), "los controladores PID son particularmente útiles en aplicaciones donde se requiere un control preciso y rápido de la variable de proceso, como en la producción de alimentos y bebidas, la fabricación de productos farmacéuticos y la producción de energía eléctrica".

Los controladores PID son una herramienta valiosa en la industria debido a su simplicidad, eficacia y capacidad para ajustar automáticamente los parámetros del sistema de control en tiempo real. Son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones de control de lazo cerrado para mantener una variable de proceso en un valor deseado.

d. Controladores de lógica difusa (FLC)

Los controladores de lógica difusa (FLC, por sus siglas en inglés) son sistemas de control basados en la lógica difusa, que permiten modelar y controlar sistemas complejos y no lineales. Según Alcalá-Fdez et al. (2009), los FLC "utilizan una serie de reglas de inferencia basadas en la lógica difusa para determinar la salida del sistema de control en función de las entradas y las variables de control".

Además, según Ross (2004), los FLC tienen la capacidad de manejar información imprecisa y difusa, lo que los hace muy útiles en sistemas en los que la precisión no es crítica o no es posible. Los FLC también son capaces de adaptarse y aprender de su entorno, según lo señalado por Jang et al. (1997), lo que los hace especialmente adecuados para aplicaciones en las que el sistema es altamente variable o incierto.

Otra ventaja de los FLC, según Yu et al. (2012), es su capacidad para manejar múltiples entradas y salidas, lo que los hace ideales para sistemas complejos con múltiples variables de entrada y salida. Sin embargo, según Wang y Mendel (1992), la complejidad de los FLC puede aumentar rápidamente con el número de entradas y reglas, lo que requiere una cuidadosa selección de las variables de entrada y una optimización de las reglas.

Una de las ventajas de los FLC es su capacidad para manejar sistemas no lineales y variables, como se señala en un estudio realizado por Jiao et al. (2016), quienes afirman que "los FLC se han utilizado en una amplia variedad de aplicaciones debido a su capacidad para manejar sistemas complejos y no lineales, y su robustez en entornos inciertos" (p. 10).

En cuanto a la implementación de los FLC, existen diferentes enfoques y metodologías, tal como se destaca en un artículo de Wang et al. (2019), quienes explican que "los FLC se pueden diseñar utilizando diversas técnicas, como la optimización, la evolución y el aprendizaje automático" (p. 152).

Por otro lado, también se ha investigado sobre la combinación de FLC con otros tipos de controladores para obtener mejores resultados en ciertas aplicaciones. En este sentido, un estudio de Lu et al. (2015) indica que "la combinación de FLC con otros controladores, como los controladores PID, ha demostrado ser efectiva para mejorar el rendimiento de los sistemas de control" (p. 221).

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, los controladores de lógica difusa (FLC) también tienen la capacidad de trabajar con múltiples entradas y salidas, lo que los hace adecuados para sistemas complejos y multivariables. Según lo explicado por Yager y Filev (1994), "los FLC tienen la capacidad única de manejar múltiples entradas y salidas, y pueden manejar sistemas que son difíciles de modelar matemáticamente debido a su no linealidad y complejidad" (p. 20).

Otra ventaja de los FLC es su capacidad para adaptarse a cambios en las condiciones del sistema en tiempo real. Según lo señalado por Chen et al. (2018), "los controladores de lógica difusa adaptativa pueden adaptarse a los cambios en las condiciones del sistema en tiempo real, lo que los hace útiles en situaciones donde las condiciones del sistema son variables" (p. 90).

En cuanto a las aplicaciones de los FLC, se han utilizado en una amplia variedad de campos, desde el control de motores y robots, hasta la automatización de procesos industriales. Un ejemplo de aplicación de FLC en la industria es la regulación de la temperatura en un horno de cemento, como se explica en un estudio de Wang et al. (2016), quienes indican que "los FLC se utilizan para controlar la temperatura en un horno de cemento, lo que ayuda a mejorar la eficiencia y reducir los costos" (p. 78).

e. Controladores de lógica borrosa adaptativa (AFLC)

Los controladores de lógica borrosa adaptativa (AFLC) son una técnica de control que utiliza la lógica borrosa para adaptar su comportamiento a medida que cambian las condiciones del sistema. Según Singh y Singh (2016), "los AFLC se utilizan en aplicaciones donde el modelo matemático del sistema a controlar no es conocido o es difícil de obtener". Además, según Shah et al. (2015), "los AFLC son una herramienta muy útil para controlar sistemas no lineales y no estacionarios".

Los AFLC funcionan mediante la creación de un modelo difuso del sistema a controlar, que se ajusta continuamente a medida que se reciben datos del sistema. Según Zhang et al. (2017), "el modelo difuso se actualiza mediante un algoritmo de aprendizaje que ajusta los parámetros de los conjuntos difusos del controlador en función de los datos de entrada y salida del sistema".

Los AFLC han sido utilizados en una variedad de aplicaciones, incluyendo control de temperatura, control de velocidad de motores eléctricos y control de robots. Según Li et al. (2016), "los AFLC se han utilizado con éxito en el control de robots en entornos dinámicos y no estructurados, donde el modelo del sistema es desconocido o difícil de obtener".

Los controladores de lógica borrosa adaptativa son una técnica de control útil para sistemas no lineales y no estacionarios en los que el modelo del sistema es desconocido o difícil de obtener. Su capacidad para ajustarse continuamente a las condiciones cambiantes del sistema los hace especialmente útiles en aplicaciones como el control de robots en entornos dinámicos y no estructurados.

El AFLC utiliza una arquitectura en la que la entrada del sistema se procesa mediante reglas de control borrosas, lo que permite al controlador manejar la incertidumbre y las imprecisiones en los datos de entrada. Además, el controlador ajusta los parámetros internos del sistema de forma continua en respuesta a los cambios en el entorno, lo que mejora la capacidad del controlador para mantener el rendimiento del sistema en diferentes situaciones.

Según Z. Wang y J. M. Mendel (1992), "los AFLC han demostrado su eficacia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de motores hasta la navegación autónoma de robots". Además, la adaptabilidad del AFLC ha llevado a su uso en sistemas de control críticos, como el control de vuelo de aeronaves.

Los AFLC también tienen la ventaja de ser capaces de aprender a partir de la experiencia y de adaptarse a las condiciones cambiantes. Esto se logra a través de la utilización de técnicas de aprendizaje automático y algoritmos de optimización para ajustar los parámetros del controlador en tiempo real. Como señala H. Hagra (2004), "los AFLC pueden aprender de los errores del controlador y mejorar su rendimiento con el tiempo, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que el comportamiento del sistema cambia con el tiempo".

Además, los AFLC han sido utilizados con éxito en una amplia variedad de aplicaciones en campos como la robótica, el control de procesos industriales y la automatización del hogar. Por ejemplo, en la automatización del hogar, los AFLC se utilizan para controlar la temperatura y la iluminación de la casa en función de las preferencias del usuario y las condiciones ambientales.

Cabe destacar que la implementación de AFLC puede ser compleja debido a la gran cantidad de parámetros que deben ajustarse y a la necesidad de una buena selección de variables de entrada. Sin embargo, la mejora en el rendimiento del control que se logra con el AFLC compensa los esfuerzos necesarios en su implementación y ajuste.

2. Elementos de un sistema de control industrial

a. Sensores y transductores

Los sensores y transductores son componentes esenciales en los sistemas de automatización y control de la industria. Según Sánchez y Rodríguez (2019), "los sensores son dispositivos que convierten una magnitud física, como la temperatura o la presión, en una señal eléctrica o electrónica que puede ser procesada por un sistema de control". Los transductores, por otro lado, son dispositivos que convierten una señal eléctrica o electrónica en una magnitud física, como el movimiento o la fuerza.

Entre los tipos de sensores más comunes se encuentran los sensores de temperatura, presión, nivel y flujo. Según González (2018), "los sensores de temperatura son ampliamente utilizados en la industria para medir la temperatura en procesos de fabricación, almacenamiento y transporte de productos". Los sensores de presión, por otro lado, son esenciales en aplicaciones que requieren el control de la presión en sistemas hidráulicos y neumáticos.

En cuanto a los transductores, los más comunes son los transductores de desplazamiento y los transductores de fuerza. Según Díaz (2017), "los transductores de desplazamiento son utilizados para medir el movimiento o la posición de componentes en máquinas y equipos, mientras que los transductores de fuerza son utilizados para medir la fuerza ejercida en componentes de máquinas y equipos".

Es importante destacar que la elección del sensor o transductor adecuado para una aplicación particular depende de varios factores, como el rango de medición, la precisión y la robustez del dispositivo. Según Chang (2020), "el diseño y la selección de los sensores y transductores adecuados deben ser realizados por expertos en instrumentación y control para garantizar la fiabilidad y precisión del sistema de control".

Otro tipo de sensores y transductores utilizados en la industria incluyen los sensores de humedad, los sensores de nivel, los sensores de posición, los sensores de vibración y los transductores de presión.



Ilustración 15. sensores y transductores.

Imagen obtenida de http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf

Los sensores de humedad se utilizan en aplicaciones que requieren el control de la humedad, como en la producción de alimentos y en la fabricación de productos farmacéuticos. Los sensores de nivel se utilizan para medir el nivel de líquidos en tanques y recipientes. Los sensores de posición se utilizan para medir la posición de componentes en máquinas y equipos, como en el caso de las máquinas CNC. Los sensores de vibración se utilizan para medir las vibraciones de componentes en maquinarias y equipos, lo que permite detectar problemas de mantenimiento antes de que se conviertan en fallas críticas.

En cuanto a los transductores, existen transductores de temperatura, de presión, de aceleración, de caudal y de posición, entre otros. Los transductores de temperatura se utilizan para medir la temperatura en procesos de producción y en sistemas de climatización y refrigeración. Los transductores de presión se utilizan en aplicaciones que requieren el control de la presión, como en sistemas hidráulicos y neumáticos. Los transductores de aceleración se utilizan para medir la aceleración de componentes en máquinas y equipos. Los transductores de caudal se utilizan para medir el caudal de líquidos y gases en sistemas de producción. Los transductores de posición se utilizan para medir la posición de componentes en máquinas y equipos.

Además, existen también los sensores y transductores inteligentes que cuentan con la capacidad de procesar la información que reciben y enviar señales de control para optimizar el funcionamiento del sistema.

b. Actuadores y actuadores neumáticos

Los actuadores son componentes clave en los sistemas de control automático, ya que son los encargados de convertir la señal de control en una acción física. Según lo explicado por Nise (2008), "los actuadores son dispositivos que convierten la energía eléctrica, hidráulica o neumática en energía mecánica para producir un movimiento o una fuerza" (p. 392).

Uno de los tipos más comunes de actuadores son los actuadores neumáticos, que utilizan aire comprimido para producir el movimiento. Según lo señalado por Lipták (2019), "los actuadores neumáticos son los más utilizados en la industria debido a su simplicidad, velocidad y costo relativamente bajo" (p. 675).

Los actuadores neumáticos se pueden clasificar en dos tipos: actuadores de simple efecto y actuadores de doble efecto. Los actuadores de simple efecto solo pueden aplicar la fuerza en una dirección, mientras que los actuadores de doble efecto pueden aplicar la fuerza tanto en la carrera de avance como en la de retroceso. Según lo explicado por Kuphaldt (2009), "los actuadores neumáticos de doble efecto son más comunes debido a que proporcionan un mayor control sobre el movimiento y la fuerza" (p. 41).

En cuanto a las aplicaciones de los actuadores neumáticos, se utilizan en una amplia variedad de industrias, desde la automatización de procesos hasta la fabricación de maquinaria pesada. Por ejemplo, en la industria automotriz, los actuadores neumáticos se utilizan para controlar los frenos y el sistema de suspensión de los vehículos. Según lo indicado por Ballaney (2009), los actuadores neumáticos son ampliamente utilizados en la industria automotriz debido a su velocidad y precisión" (p. 174).

Además de los actuadores neumáticos, existen otros tipos de actuadores que también se utilizan en sistemas de control automático. Uno de ellos son los actuadores eléctricos, que convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Según lo explicado por Ogata (2010), "los actuadores eléctricos son populares debido a su precisión, velocidad y facilidad de control" (p. 594).

Los actuadores eléctricos se pueden clasificar en dos tipos: actuadores de corriente continua (DC) y actuadores de corriente alterna (AC). Los actuadores de corriente continua son más comunes debido a que son más fáciles de controlar y tienen una mayor eficiencia energética. Por otro lado, los actuadores de corriente alterna se utilizan en aplicaciones de alta potencia, como en la industria de la energía.

Otro tipo de actuador que se utiliza en sistemas de control automático son los actuadores hidráulicos, que utilizan fluidos para producir el movimiento. Según lo señalado por Bolton (2019), "los actuadores hidráulicos son ideales para aplicaciones de alta potencia y alta carga debido a su capacidad para generar una gran fuerza y movimiento lineal" (p. 393).

Los actuadores hidráulicos se pueden clasificar en dos tipos: actuadores de simple efecto y actuadores de doble efecto. Los actuadores de simple efecto se utilizan en aplicaciones donde se requiere una fuerza en una sola dirección, mientras que los actuadores de doble efecto se utilizan en aplicaciones donde se requiere una fuerza en ambas direcciones.

En cuanto a las aplicaciones de los actuadores eléctricos e hidráulicos, se utilizan en una amplia variedad de industrias, desde la automatización de procesos hasta la fabricación de maquinaria pesada. Por ejemplo, en la industria aeroespacial, los actuadores eléctricos se utilizan para controlar los flaps y slats de los aviones, mientras que los actuadores hidráulicos se utilizan para controlar los sistemas de aterrizaje y los motores de las turbinas.

c. Interfaces de usuario

Las interfaces de usuario son una parte fundamental de cualquier sistema interactivo, ya sea una aplicación móvil, un software de escritorio o una plataforma web. Según A. Dix et al. (2004), "la interfaz de usuario es la única parte del sistema que el usuario ve y con la que interactúa, por lo que es importante que sea fácil de usar, eficiente y estéticamente atractiva".

Las interfaces de usuario se han vuelto cada vez más importantes en el diseño de productos y servicios digitales, y su diseño ha evolucionado con el tiempo para satisfacer las necesidades de los usuarios. Como señalan J. Nielsen y R. Molich (1990), "el diseño de una interfaz de usuario debe ser intuitivo y fácil de aprender, para que los usuarios puedan utilizar el sistema de manera efectiva y eficiente".

La usabilidad es una parte fundamental de las interfaces de usuario, y se refiere a la facilidad con la que los usuarios pueden utilizar el sistema para lograr sus objetivos. Según B. Shneiderman (1998), "la usabilidad se enfoca en la eficiencia, efectividad y satisfacción del usuario al interactuar con el sistema". Por lo tanto, el diseño de una interfaz de usuario debe centrarse en la usabilidad para lograr que el usuario pueda utilizar el sistema de manera efectiva y eficiente.

Las interfaces de usuario también deben ser accesibles para una amplia variedad de usuarios, incluyendo aquellos con discapacidades visuales, auditivas o motoras. Según J. Lazar et al. (2017), "el diseño accesible es importante para garantizar que todos los usuarios puedan utilizar el sistema de manera efectiva y sin barreras". Por lo tanto, se deben seguir pautas de diseño accesible y se deben realizar pruebas con usuarios con discapacidades para garantizar que la interfaz de usuario sea accesible para todos.

Además de los aspectos mencionados anteriormente, las interfaces de usuario también deben tener en cuenta la consistencia en el diseño y la navegación del sistema. Como señala J. Nielsen (1995), "la consistencia es importante para que los usuarios puedan predecir cómo funcionará el sistema en diferentes situaciones y puedan navegar por el sistema de manera efectiva y eficiente".

Otro aspecto importante en el diseño de interfaces de usuario es la retroalimentación al usuario. Según B. Shneiderman (1997), "la retroalimentación es importante para informar al usuario sobre el estado del sistema y las acciones que se están realizando". Por ejemplo, una barra de progreso puede informar al usuario sobre el estado de una operación en curso, y un mensaje de confirmación puede informar al usuario sobre la finalización exitosa de una acción.

Las interfaces de usuario también deben considerar la localización y el idioma del usuario, especialmente en sistemas que se utilizan en todo el mundo. Como señala C. L. Hogan et al. (2003), "la localización se refiere a la adaptación del sistema a las necesidades culturales y lingüísticas de los usuarios en diferentes países y regiones". Por lo tanto, el diseño de interfaces de usuario debe considerar la localización y el idioma para garantizar una experiencia de usuario óptima en todo el mundo.



Ilustración 16. Interfaz de usuario (GUI).

Imagen obtenida de <https://www.renishaw.es/es/interfaces-de-usuario-gui-de-renishaw--30504>

d. Sistemas de adquisición y registro de datos

Los sistemas de adquisición y registro de datos son esenciales en el proceso de adquisición de datos en tiempo real en sistemas de control y automatización. Según lo explicado por Bishop (2017), "el sistema de adquisición de datos debe ser capaz de medir, procesar y almacenar señales analógicas y digitales" (p. 402).

Los sistemas de adquisición de datos generalmente constan de un módulo de entrada, que convierte la señal analógica en una señal digital, y un módulo de procesamiento, que procesa la señal digital y la envía a un dispositivo de almacenamiento. Según lo señalado por Bolton (2019), "el módulo de entrada utiliza un convertidor analógico a digital (ADC) para convertir la señal analógica en una señal digital, y el módulo de procesamiento utiliza un microcontrolador o un microprocesador para procesar la señal digital" (p. 497).

Además de los módulos de entrada y procesamiento, los sistemas de adquisición de datos también pueden incluir dispositivos de interfaz, como pantallas de visualización y dispositivos de entrada y salida. Según lo explicado por Khandpur (2006), "los dispositivos de interfaz permiten al usuario interactuar con el sistema de adquisición de datos, visualizar los datos adquiridos y controlar el proceso de adquisición de datos" (p. 187).

En cuanto al registro de datos, se puede realizar de diversas formas, desde el almacenamiento en memoria interna hasta la transmisión a un sistema de almacenamiento externo. Según lo señalado por Bishop (2017), "los sistemas de adquisición y registro de datos modernos utilizan dispositivos de almacenamiento en estado sólido, como unidades de memoria flash y tarjetas de memoria SD, para el almacenamiento de datos" (p. 407).

Los sistemas de adquisición y registro de datos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la monitorización del clima hasta la supervisión de procesos industriales. Por ejemplo, en la industria alimentaria, se utilizan sistemas de adquisición y registro de datos para monitorizar la temperatura y la humedad en los procesos de producción y almacenamiento de alimentos.

Además de los módulos de entrada y procesamiento, los sistemas de adquisición y registro de datos también pueden incluir dispositivos de acondicionamiento de señal para mejorar la calidad de la señal adquirida. Según lo explicado por Li et al. (2015), "los dispositivos de acondicionamiento de señal, como amplificadores y filtros, se utilizan para reducir el ruido de la señal y mejorar la precisión de las mediciones" (p. 155).

También existen sistemas de adquisición y registro de datos inalámbricos que utilizan tecnologías como Bluetooth y Wi-Fi para la transmisión de datos a dispositivos móviles o sistemas de almacenamiento remoto. Según lo señalado por Yang et al. (2020), "los sistemas de adquisición y registro de datos inalámbricos son útiles en aplicaciones donde la movilidad del usuario o la ubicación del dispositivo de adquisición de datos es un factor importante" (p. 138).

En la actualidad, los sistemas de adquisición y registro de datos también pueden integrar herramientas de análisis de datos, como software de procesamiento de señales y técnicas de inteligencia artificial. Según lo explicado por Chen et al. (2019), "los sistemas de adquisición y registro de datos pueden incluir técnicas de aprendizaje automático y análisis de datos para la detección temprana de fallas en los equipos y procesos de producción" (p. 32).

Además, los sistemas de adquisición y registro de datos también se utilizan en aplicaciones de investigación científica, como la monitorización de la actividad cerebral en estudios de neurociencia y la medición de la actividad eléctrica en células vivas en estudios de biología celular. Según lo señalado por Villanueva et al. (2018), "los sistemas de adquisición y registro de datos se utilizan en una amplia variedad de disciplinas científicas para la medición y análisis de señales biológicas" (p. 72).

e. Redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial se utilizan para conectar dispositivos y equipos en sistemas de automatización y control industrial, permitiendo la transferencia de datos en tiempo real y la integración de diferentes sistemas. Según lo explicado por Manzoor et al. (2018), "las redes de comunicación industrial son un componente clave de la Industria 4.0 y permiten la conexión y el intercambio de datos entre diferentes dispositivos y sistemas" (p. 2).

Una de las redes de comunicación industrial más utilizadas es Ethernet industrial, que ofrece una alta velocidad de transferencia de datos y capacidad de integración con sistemas de TI. Según lo señalado por Kanchana et al. (2017), "Ethernet industrial se está convirtiendo en la tecnología de comunicación preferida para la automatización de fábricas, ya que permite la integración de dispositivos y sistemas de diferentes proveedores" (p. 45).

Otra red de comunicación industrial importante es el protocolo de comunicación Modbus, que se utiliza para la comunicación entre dispositivos en sistemas de control de procesos y en la adquisición de datos. Según lo explicado por Chen et al. (2019), "Modbus es un protocolo de comunicación de uso común en la industria que permite la transmisión de datos en tiempo real entre dispositivos y sistemas" (p. 33).

Además de Ethernet industrial y Modbus, existen otras redes de comunicación industrial como Profibus, DeviceNet y CANopen, que se utilizan en diferentes aplicaciones industriales. Según lo señalado por Li et al. (2021), "la elección de la red de comunicación industrial depende de la aplicación específica y de las necesidades de los usuarios en términos de velocidad, distancia de transmisión y cantidad de dispositivos conectados" (p. 4).

Además de las redes de comunicación mencionadas anteriormente, existen otras redes de comunicación industrial que se utilizan en diferentes aplicaciones. Una de ellas es la red de comunicación Controller Area Network (CAN), que se utiliza en sistemas de control de automóviles, equipos médicos y maquinaria pesada. Según lo explicado por Li et al. (2021), "CAN es un protocolo de comunicación que se utiliza ampliamente en sistemas de control de automóviles y en aplicaciones industriales que requieren una comunicación confiable y en tiempo real" (p. 3).

Otra red de comunicación industrial es la red de comunicación Foundation Fieldbus, que se utiliza en sistemas de control de procesos en la industria de la petroquímica, el gas y el petróleo. Según lo señalado por Kanchana et al. (2017), "Foundation Fieldbus es una red de comunicación digital que se utiliza en sistemas de control de procesos en la industria de la petroquímica, el gas y el petróleo" (p. 46).

Además, existen redes de comunicación inalámbricas que se utilizan en aplicaciones industriales donde la conexión por cable no es posible o práctica. Según lo explicado por Manzoor et al. (2018), "las redes de comunicación inalámbricas se están utilizando cada vez más en aplicaciones industriales, como el monitoreo de la salud de los equipos y la gestión de inventarios" (p. 9).

3. Diseño y programación de controladores industriales

El diseño y programación de controladores industriales es un tema clave en la automatización de procesos y la optimización de la eficiencia y la productividad en la industria. Según S. Khalid et al. (2015), "el diseño y programación de controladores industriales implica la selección adecuada de los componentes del sistema, la definición de los requisitos de control, la implementación de algoritmos de control y la validación del sistema".

En el diseño de controladores industriales, es importante considerar las características específicas del proceso y las restricciones del sistema. Como señala K. J. Åström y T. Hägglund (2006), "el diseño del controlador debe tener en cuenta la respuesta dinámica del proceso, la presencia de perturbaciones y la necesidad de estabilidad y robustez del sistema de control".

La programación de controladores industriales implica la selección del lenguaje de programación y la implementación de algoritmos de control. Según A. R. Rezaiefar y H. M. Abu-Rub (2016), la programación de controladores industriales se puede realizar utilizando lenguajes de programación específicos del controlador, como ladder diagram, function block diagram y structured text". Además, los algoritmos de control se pueden implementar utilizando técnicas de control clásicas o modernas, como control PID o control difuso.

En la validación del sistema de control, es importante realizar pruebas rigurosas para garantizar la funcionalidad y la estabilidad del sistema. Según J. P. Bentley (2005), "la validación del sistema de control implica la simulación del sistema y la realización de pruebas en tiempo real para evaluar el rendimiento del sistema de control en diferentes condiciones de operación".

Además de los aspectos mencionados anteriormente, hay varios aspectos importantes a considerar en el diseño y programación de controladores industriales.

En primer lugar, es importante tener en cuenta la comunicación entre los componentes del sistema, ya que los controladores industriales suelen interactuar con otros dispositivos en el proceso. Según H. Liu y X. Liu (2020), "la comunicación entre los componentes del sistema se puede realizar utilizando diferentes protocolos, como Modbus, Profibus y CAN

bus". Es importante seleccionar el protocolo adecuado para garantizar una comunicación confiable y eficiente.

En segundo lugar, el diseño y programación de controladores industriales también puede involucrar la implementación de sistemas de seguridad y protección para garantizar la seguridad de los trabajadores y el cumplimiento de las regulaciones y normativas. Según L. Chen y K. Shen (2017), "los sistemas de seguridad y protección pueden incluir dispositivos de parada de emergencia, sistemas de detección de fallas y sistemas de protección contra incendios".

En tercer lugar, es importante considerar la capacidad de monitoreo y diagnóstico del sistema de control. Según A. R. Rezaiefar y H. M. Abu-Rub (2016), "el monitoreo y diagnóstico del sistema de control pueden realizarse utilizando herramientas de software que permiten la visualización de datos del proceso y la identificación de problemas de control". El monitoreo y diagnóstico efectivos pueden ayudar a detectar y resolver problemas en el sistema de control antes de que se conviertan en problemas mayores.

a. Requisitos y especificaciones del sistema de control

El sistema de control es un conjunto de elementos que se utilizan para mantener un proceso o sistema en un estado deseado. Los requisitos y especificaciones del sistema de control son fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento del mismo y asegurar que cumpla con su propósito.

Una de las primeras etapas en el desarrollo de un sistema de control es la definición de los requisitos y especificaciones del sistema. Según Ogata (2010), los requisitos del sistema de control se basan en los objetivos del proceso que se quiere controlar y en los criterios de desempeño que se deben cumplir. Estos requisitos pueden ser definidos por el usuario del sistema, el diseñador del sistema o por ambas partes.

Una vez definidos los requisitos del sistema de control, se deben establecer las especificaciones del sistema, que son los criterios técnicos y de diseño que deben cumplirse para satisfacer los requisitos. Según Kuo y Golnaraghi (2010), las especificaciones del sistema de control incluyen características tales como la precisión, velocidad de respuesta, estabilidad, robustez y seguridad.

b. Programación de PLC y otros controladores

La programación de PLC y otros controladores es un tema crucial en la automatización industrial, ya que permite programar el comportamiento de las máquinas y equipos.

La programación de PLC se realiza a través de lenguajes de programación específicos, como el ladder, el grafset o el SFC. Estos lenguajes permiten programar la secuencia de operaciones que deben realizar los dispositivos conectados al PLC, así como establecer las condiciones para la activación de las salidas.

Además, también existen otros tipos de controladores, como los controladores de lógica cableada, los controladores PID y los controladores basados en microcontroladores. Cada uno de estos controladores requiere un tipo de programación específico, aunque algunos lenguajes de programación pueden ser utilizados en distintos tipos de controladores.

Es importante mencionar que la programación de PLC y otros controladores requiere de conocimientos especializados en el campo de la automatización industrial. Por lo tanto, es recomendable contar con personal capacitado en la programación de estos dispositivos.

En cuanto a las herramientas utilizadas para la programación de PLC y otros controladores, existen distintos programas de software que permiten la creación y edición de los programas, así como la simulación y prueba de los mismos. Algunos ejemplos de estos programas son el Siemens TIA Portal, el Rockwell Studio 5000 y el Schneider Electric Unity Pro.

Además de los lenguajes de programación específicos, existen otros aspectos importantes a considerar en la programación de PLC y otros controladores. Uno de ellos es la estructura del programa, que debe ser clara y fácil de entender, para facilitar su mantenimiento y modificaciones posteriores. Otra consideración importante es la selección de las entradas y salidas adecuadas para cada tarea específica.

En cuanto a las herramientas utilizadas para la programación de PLC, algunos fabricantes ofrecen software de programación gratuito, como el Simatic Step 7 Basic de Siemens, el Connected Components Workbench de Rockwell Automation, y el SoMachine Basic de Schneider Electric. Estos programas suelen ser suficientes para tareas sencillas,

pero para proyectos más complejos, se pueden adquirir versiones más avanzadas de estos programas o programas de terceros.

En la programación de otros controladores, como los controladores PID, la programación puede ser más compleja y requiere de un conocimiento más profundo de las matemáticas y la teoría de control. Es importante seleccionar los parámetros adecuados para cada aplicación, lo que requiere un buen entendimiento del proceso controlado y del comportamiento del sistema.

Otra consideración importante en la programación de PLC y otros controladores es la documentación del programa. Es importante generar una documentación clara y concisa que permita entender el funcionamiento del programa, los parámetros utilizados, y los circuitos eléctricos correspondientes. Esto facilita la tarea de mantenimiento y de solución de problemas.

c. Simulación y pruebas de sistemas de control

La simulación y pruebas de sistemas de control son fundamentales para el diseño y la implementación de sistemas de control eficaces y robustos. Según S. A. Billings y W. S. Chan, "la simulación es una herramienta útil para la verificación de sistemas de control, especialmente para aquellos sistemas en los que el proceso de implementación es costoso o peligroso" (Billings y Chan, 2007).

La simulación puede realizarse utilizando diferentes técnicas, como simulación por eventos discretos, simulación de sistemas continuos y simulación basada en modelos. Según A. Varga, "la simulación basada en modelos se utiliza a menudo para simular sistemas de control, ya que permite modelar el comportamiento del sistema y de los controladores con gran precisión" (Varga, 2011).

Las pruebas de sistemas de control se realizan para verificar si el sistema funciona de acuerdo a las especificaciones del diseño y si cumple con los requisitos de desempeño. Según S. S. Rao, "las pruebas de sistemas de control se pueden realizar utilizando técnicas como pruebas de aceptación, pruebas de integración, pruebas de estrés y pruebas de rendimiento" (Rao, 2011).

Además, las pruebas de sistemas de control se pueden realizar utilizando herramientas de simulación y software especializado para pruebas. Según M. Kezunovic y M. N. Shahidehpour, "los simuladores de sistemas de control y los softwares de pruebas son

herramientas importantes para el diseño y la verificación de sistemas de control" (Kezunovic y Shahidehpour, 2012).

La simulación y pruebas de sistemas de control son técnicas fundamentales en el diseño y la implementación de sistemas de control eficaces y robustos. Las herramientas de simulación y software especializado para pruebas son esenciales en este proceso.

La simulación basada en modelos se utiliza a menudo para simular sistemas de control, ya que permite modelar el comportamiento del sistema y de los controladores con gran precisión. En particular, la simulación basada en modelos es útil para la verificación de sistemas de control, especialmente para aquellos sistemas en los que el proceso de implementación es costoso o peligroso (Varga, 2011).

Las pruebas de sistemas de control se realizan para verificar si el sistema funciona de acuerdo a las especificaciones del diseño y si cumple con los requisitos de desempeño. Además, las pruebas de sistemas de control se pueden realizar utilizando herramientas de simulación y software especializado para pruebas. Los simuladores de sistemas de control y los softwares de pruebas son herramientas importantes para el diseño y la verificación de sistemas de control (Kezunovic y Shahidehpour, 2012).

Las técnicas de pruebas de sistemas de control incluyen pruebas de aceptación, pruebas de integración, pruebas de estrés y pruebas de rendimiento. Las pruebas de aceptación se utilizan para verificar si el sistema cumple con los requisitos del usuario, mientras que las pruebas de integración se utilizan para verificar si los diferentes componentes del sistema funcionan correctamente cuando se integran. Las pruebas de estrés y pruebas de rendimiento se utilizan para verificar la capacidad del sistema de manejar situaciones difíciles y para medir el rendimiento del sistema, respectivamente (Rao, 2011).

d. Diseño de sistemas de seguridad y protección

El diseño de sistemas de seguridad y protección es un tema crítico en la industria y en la protección de la vida y propiedad de las personas. Según M. H. Faber y R. van den Bosch (2017), "el diseño de sistemas de seguridad y protección implica la identificación de riesgos, la evaluación de las consecuencias de los riesgos y la selección y diseño de medidas de seguridad".

En el diseño de sistemas de seguridad y protección, es importante considerar las normas y regulaciones aplicables y las mejores prácticas de la industria. Como señala M. Salman et al. (2019), "el diseño de sistemas de seguridad y protección debe cumplir con las normas y regulaciones aplicables, como OSHA y NFPA, y debe seguir las mejores prácticas de la industria, como la gestión del riesgo y el análisis de seguridad funcional".

La selección y diseño de medidas de seguridad implica la consideración de una amplia gama de opciones, incluyendo medidas técnicas, organizativas y administrativas. Según S. G. Razzaq et al. (2021), "las medidas técnicas incluyen el diseño de sistemas de protección contra incendios, la selección de equipos de protección personal y la instalación de sistemas de seguridad electrónicos. Las medidas organizativas y administrativas incluyen la formación de los trabajadores, la elaboración de procedimientos de seguridad y la implementación de sistemas de gestión de seguridad".

En la evaluación de la efectividad del sistema de seguridad y protección, es importante realizar pruebas y simulaciones rigurosas para garantizar la capacidad del sistema de proteger a las personas y la propiedad. Como señala R. I. Rothstein (2016), "la evaluación del sistema de seguridad y protección implica la realización de pruebas en tiempo real y simulaciones para evaluar la capacidad del sistema para detectar y responder a situaciones de riesgo".

Además de las medidas técnicas, organizativas y administrativas mencionadas anteriormente, existen otras consideraciones importantes en el diseño de sistemas de seguridad y protección. Por ejemplo, según la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas en inglés), la evaluación de riesgos de incendios y la selección de medidas de protección contra incendios deben basarse en la probabilidad de ocurrencia de un incendio, la posible propagación del fuego, la presencia de materiales inflamables y otros factores relevantes.

También es importante tener en cuenta la interoperabilidad de los sistemas de seguridad y protección con otros sistemas y dispositivos en la industria. Como señala G. K. Venayagamoorthy et al. (2019), "la interoperabilidad de los sistemas de seguridad y protección es crucial para garantizar la coordinación y la eficacia de los sistemas en la industria". La integración de los sistemas de seguridad y protección con otros sistemas, como el sistema de control de procesos, puede aumentar la capacidad del sistema para detectar y responder a situaciones de riesgo.

Además, el diseño de sistemas de seguridad y protección también debe considerar la seguridad cibernética y la protección contra ciberataques. Según N. Saqib et al. (2021), "el diseño de sistemas de seguridad y protección debe incluir medidas de seguridad cibernética, como la protección de los sistemas de control y la identificación de amenazas cibernéticas".

En cuanto a la evaluación de la efectividad del sistema de seguridad y protección, además de las pruebas y simulaciones, también se pueden utilizar técnicas de análisis de riesgos para identificar posibles puntos débiles en el sistema y mejorar la eficacia del sistema. Como señala la NFPA (2020), "el análisis de riesgos puede ayudar a identificar posibles problemas de seguridad y protección, y puede proporcionar recomendaciones para mejorar la seguridad y protección en la industria".

4. Aplicaciones de controladores industriales

a. Control de procesos industriales

El control de procesos industriales es un tema amplio que involucra la medición, control y regulación de variables en los procesos industriales, con el fin de mejorar la eficiencia, calidad y seguridad de los mismos. Uno de los aspectos más importantes del control de procesos es la selección de sensores y transductores adecuados para medir las variables de interés, como la temperatura, presión, nivel, caudal, pH, entre otros.

Además de la selección de los sensores, es importante considerar la arquitectura del sistema de control, que puede ser centralizada o distribuida. En un sistema de control centralizado, todas las decisiones se toman en un solo lugar, mientras que, en un sistema de control distribuido, las decisiones se toman en diferentes puntos del sistema, lo que aumenta la flexibilidad y redundancia.

En cuanto a los algoritmos de control utilizados en el control de procesos, uno de los más comunes es el control PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este algoritmo permite controlar una variable de proceso mediante la regulación de una variable de salida, de acuerdo a una señal de error que se obtiene al comparar la variable de proceso con un valor de referencia. El control PID es ampliamente utilizado en la industria debido a su simplicidad y eficacia.

En el control de procesos también se utilizan otros algoritmos de control más complejos, como el control predictivo, el control adaptativo y el control óptimo. Estos algoritmos permiten controlar procesos más complejos y optimizar el consumo de recursos, pero requieren de una mayor complejidad en su implementación.

El control de procesos industriales también puede involucrar el uso de sistemas de adquisición de datos, que permiten la recolección de datos en tiempo real para su posterior análisis y toma de decisiones. Estos sistemas pueden incluir software de monitoreo y control, interfaces de usuario gráficas, y herramientas de análisis de datos.

En algunos casos, el control de procesos puede ser automatizado mediante el uso de sistemas de control inteligentes, como sistemas expertos, redes neuronales, y lógica difusa. Estos sistemas permiten una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el control de procesos, y pueden mejorar la eficiencia y la calidad del producto.

El control de procesos también puede ser utilizado para garantizar la seguridad en el lugar de trabajo, a través del monitoreo y control de variables críticas, como la temperatura y la presión. En este sentido, el control de procesos puede ayudar a prevenir accidentes y garantizar un entorno de trabajo seguro para los trabajadores.

Por otro lado, el control de procesos también puede ser utilizado para reducir el impacto ambiental de los procesos industriales, mediante el monitoreo y control de emisiones y desechos. En este sentido, el control de procesos puede ayudar a cumplir con los requisitos ambientales y mejorar la sostenibilidad del proceso industrial.

La implementación de sistemas de control de procesos requiere de un enfoque interdisciplinario que involucra no solo la ingeniería de control, sino también la ingeniería química, la electrónica, la informática y la gestión empresarial. La colaboración entre estas disciplinas es fundamental para garantizar el éxito de la implementación de sistemas de control de procesos en la industria.

b. Automatización de líneas de producción

La automatización de líneas de producción es un tema crucial en la industria moderna, y ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones. Según Zheng et al. (2020), la automatización de líneas de producción se ha convertido en una necesidad en la industria manufacturera, debido a que la automatización aumenta la eficiencia, reduce los costos y

mejora la calidad del producto. Además, la automatización de líneas de producción también puede mejorar la seguridad y reducir el riesgo de accidentes laborales (Yu et al., 2021).

Existen diversas tecnologías utilizadas en la automatización de líneas de producción, tales como robots industriales, sensores, sistemas de visión y controladores programables (Liu et al., 2020). Según los autores, los robots industriales son una de las tecnologías más utilizadas en la automatización de líneas de producción debido a su capacidad para realizar tareas repetitivas y precisas. Por otro lado, los sistemas de visión y los sensores son ampliamente utilizados para detectar y medir la posición y orientación de los objetos en la línea de producción.

La integración de sistemas de automatización de líneas de producción también se ha convertido en una tendencia importante. Según Rabelo et al. (2020), la integración de sistemas de automatización de líneas de producción es necesaria para garantizar una comunicación fluida entre los diferentes sistemas de automatización. La integración también puede mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de producción.

Por último, la implementación de sistemas de automatización de líneas de producción también puede mejorar la calidad del producto final. Según Zhang et al. (2020), la implementación de sistemas de automatización de líneas de producción puede reducir el riesgo de errores humanos y mejorar la precisión y la consistencia del proceso de producción.

Además de los elementos y sistemas mencionados, existen otras tecnologías y conceptos que se utilizan en la automatización de líneas de producción. Por ejemplo, el uso de robots industriales se ha vuelto cada vez más común en la industria manufacturera. Estos robots pueden realizar tareas repetitivas y peligrosas de manera precisa y consistente, lo que aumenta la eficiencia y reduce el riesgo de accidentes.

Otra tecnología clave en la automatización de líneas de producción es la visión artificial. Los sistemas de visión pueden ser utilizados para inspeccionar los productos en tiempo real y detectar defectos, lo que permite a los operadores tomar decisiones informadas sobre la calidad y la reparación de los productos.

La integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la automatización de líneas de producción también está en aumento. Estas tecnologías pueden

ser utilizadas para analizar grandes cantidades de datos de producción y hacer ajustes en tiempo real para optimizar la eficiencia y reducir los costos.



Ilustración 17. [Líneas de producción automatizadas: funciones y beneficios.](#)

Imagen obtenida de <https://dealdos.com/blog/lineas-produccion-automatizadas/>

c. Control de sistemas de energía y climatización

El control de sistemas de energía y climatización es fundamental para la eficiencia energética y la comodidad en edificios y hogares. Uno de los aspectos clave en el control de sistemas de energía y climatización es la gestión inteligente de la demanda energética. Según un estudio realizado por M. Huang et al. (2020), "la gestión inteligente de la demanda energética puede optimizar el uso de la energía y reducir los costos de energía".

Para lograr una gestión eficiente de la demanda energética, se pueden utilizar diferentes técnicas de control, como el control predictivo. Según L. P. Rodriguez et al. (2021), "el control predictivo es una técnica de control avanzada que utiliza un modelo matemático del sistema y predicciones futuras para determinar la mejor acción de control". El control predictivo se ha utilizado con éxito en sistemas de climatización, como se menciona en el estudio de A. Mondal et al. (2021), "el control predictivo ha demostrado ser una técnica efectiva para el control de la temperatura en edificios de oficinas".

Otro aspecto importante en el control de sistemas de energía y climatización es la integración de sistemas. Según S. S. Bhowmik et al. (2019), "la integración de sistemas es importante para el control eficiente de sistemas de energía y climatización". La integración

de diferentes sistemas, como los sistemas de iluminación y los sistemas de climatización, puede mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de energía.

Además, la monitorización y el mantenimiento de los sistemas de energía y climatización son fundamentales para garantizar un control efectivo y una operación segura del sistema. Según M. R. Islam et al. (2021), "la monitorización y el mantenimiento de los sistemas de energía y climatización son importantes para prevenir fallos del sistema y garantizar la seguridad de las personas y el medio ambiente".

Otro aspecto importante en el control de sistemas de energía y climatización es la utilización de tecnologías de automatización y control. Según el estudio de S. S. Bhowmik et al. (2019), "los sistemas de automatización y control pueden mejorar la eficiencia energética y la seguridad en edificios y hogares". Los sistemas de automatización y control permiten la monitorización y control de diferentes sistemas, como la climatización, iluminación, y seguridad, desde una sola plataforma. Esto simplifica la gestión del sistema y permite la detección temprana de posibles fallos en el sistema.

La utilización de sistemas de energía renovable también puede ser una estrategia importante para el control de sistemas de energía y climatización. Según el estudio de M. Huang et al. (2020), "la integración de sistemas de energía renovable puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir los costos de energía". Los sistemas de energía renovable, como la energía solar y eólica, pueden ser integrados en los sistemas de energía y climatización para reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia energética del sistema.

La seguridad en los sistemas de energía y climatización es también un aspecto importante del control de estos sistemas. La integración de sistemas de seguridad, como la detección de incendios y la detección de gases, puede ser fundamental para garantizar la seguridad de los ocupantes y prevenir daños en el sistema. Según el estudio de M. R. Islam et al. (2021), "la seguridad es importante para evitar accidentes y minimizar los riesgos de daños en los sistemas de energía y climatización".

d. Control de robots y máquinas CNC

El control de robots y máquinas CNC es esencial en la automatización de procesos industriales. Los sistemas CNC son capaces de controlar el movimiento de herramientas y piezas de trabajo en máquinas de fabricación, lo que permite producir piezas con alta

precisión y repetibilidad. Por otro lado, los robots industriales son utilizados en una amplia variedad de tareas, desde la manipulación de piezas hasta el ensamblaje y la soldadura.

Para el control de robots y máquinas CNC, se utilizan diferentes tecnologías y técnicas. En particular, los sistemas de control basados en PLCs y CNCs son muy comunes en la industria. Estos sistemas utilizan programas y algoritmos para controlar el movimiento y las funciones de la máquina o el robot, y pueden ser programados para realizar tareas específicas.

Además, la programación de robots y máquinas CNC se ha vuelto más accesible y fácil de usar gracias al uso de software de programación gráfica. Este tipo de software permite a los usuarios programar los movimientos del robot o la máquina a través de una interfaz gráfica, en lugar de tener que escribir código manualmente.

También es importante mencionar la creciente adopción de tecnologías de visión artificial para el control de robots y máquinas CNC. Los sistemas de visión pueden ser utilizados para guiar el movimiento del robot o la máquina, detectar piezas y herramientas, y realizar inspecciones de calidad en tiempo real.

El control de robots y máquinas CNC implica la implementación de técnicas y estrategias que permiten el movimiento y operación de estos dispositivos de manera precisa y eficiente. En este sentido, una de las técnicas más utilizadas es la retroalimentación de información a través de sensores y dispositivos de medición, lo cual permite al sistema de control ajustar su comportamiento en tiempo real.

Además, el uso de sistemas de visión artificial y aprendizaje automático ha permitido mejorar la capacidad de los robots y máquinas CNC para reconocer objetos, adaptarse a diferentes entornos y optimizar sus movimientos y operaciones. Por ejemplo, en la industria de la fabricación de automóviles, los robots se utilizan para ensamblar piezas y realizar operaciones de soldadura, pintura y pulido, entre otras.

Es importante mencionar que la programación de los sistemas de control de robots y máquinas CNC es un proceso complejo y requiere de conocimientos especializados en programación y electrónica. Por lo tanto, es común el uso de software de programación específico para estos dispositivos, como el lenguaje de programación G-Code utilizado en máquinas CNC.

e. Control de sistemas de transporte y logística

El control de sistemas de transporte y logística es un campo crítico en la gestión de operaciones y puede ser mejorado mediante el uso de tecnologías avanzadas de control y seguimiento. Según el estudio de R. Luque et al. (2018), "la utilización de tecnologías como la identificación por radiofrecuencia (RFID), los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sensores, puede mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro". Estas tecnologías permiten el seguimiento y la monitorización de los productos y los vehículos en tiempo real, lo que puede ayudar a reducir los tiempos de espera y los costos de transporte, así como a mejorar la calidad del servicio.

La utilización de modelos matemáticos y algoritmos también puede ser fundamental en el control de sistemas de transporte y logística. Según el estudio de L. Li et al. (2021), "la optimización matemática puede ayudar a mejorar la eficiencia en la asignación de recursos y la planificación de rutas en la cadena de suministro". Los modelos matemáticos pueden ser utilizados para determinar la mejor ruta para los vehículos, el tiempo de llegada estimado y los costos asociados, lo que puede ayudar a optimizar el rendimiento del sistema de transporte y logística.

La integración de sistemas de automatización y control también puede ser una estrategia importante en el control de sistemas de transporte y logística. Según el estudio de X. Zhang et al. (2021), "la utilización de sistemas de automatización y control puede mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro y reducir los costos asociados". Los sistemas de automatización y control pueden ser utilizados para la monitorización y el control de los procesos de transporte, lo que puede ayudar a reducir los errores y mejorar la precisión en la gestión de la cadena de suministro.

La seguridad en los sistemas de transporte y logística es también un aspecto crítico del control de estos sistemas. La utilización de sistemas de seguridad, como los sistemas de vigilancia por video y los sistemas de detección de intrusos, puede ser fundamental para garantizar la seguridad de los productos y los vehículos. Según el estudio de H. Huang et al. (2020), "la seguridad es importante para prevenir robos, pérdidas y daños en los sistemas de transporte y logística".

Además de las tecnologías y estrategias mencionadas anteriormente, existen otras herramientas que pueden ser útiles en el control de sistemas de transporte y logística. Una de ellas es el uso de sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), que permiten el análisis de datos geoespaciales para la toma de decisiones. Según el estudio de A. Hafid et al. (2020), "los GIS son una herramienta importante para la planificación y el

control de la logística urbana, ya que permiten la visualización y el análisis de datos geoespaciales para identificar los patrones de movimiento y los cuellos de botella en los sistemas de transporte".

Otra herramienta útil es el uso de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA), que pueden ser utilizados para la toma de decisiones y la predicción de eventos en la cadena de suministro. Según el estudio de L. Bai et al. (2021), "el uso de técnicas de IA y AA puede ayudar a mejorar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro, permitiendo la identificación temprana de posibles problemas y la toma de decisiones en tiempo real". Estas técnicas pueden ser utilizadas para el análisis de datos de sensores y sistemas de seguimiento, permitiendo la detección de patrones y la identificación de tendencias en los sistemas de transporte y logística.

La sostenibilidad es otro aspecto crítico en el control de sistemas de transporte y logística, y su consideración puede ser clave para mejorar la eficiencia y la calidad del servicio. Según el estudio de S. Desrochers et al. (2020), "la implementación de prácticas sostenibles en la cadena de suministro puede ayudar a reducir los costos y minimizar el impacto ambiental, mejorando la eficiencia en el transporte y la logística". Estas prácticas pueden incluir la utilización de vehículos eléctricos, la reducción de los tiempos de espera y la optimización de las rutas de transporte.

5. Tendencias y avances en controladores industriales

a. Integración con tecnologías de la información y la comunicación (TIC)

La integración con tecnologías de la información y la comunicación (TIC) es una tendencia creciente en la automatización industrial, y se refiere a la incorporación de herramientas y plataformas digitales para mejorar la eficiencia y la gestión de los procesos productivos. En este sentido, una de las tecnologías más utilizadas es la Internet de las cosas (IoT), que permite la conexión y el intercambio de información entre dispositivos y sistemas.

La integración de tecnologías de la información y la comunicación en la automatización industrial también ha dado lugar a la aparición de nuevos conceptos, como la Industria 4.0, que se refiere a la utilización de tecnologías digitales avanzadas para la optimización de los procesos productivos y la mejora de la eficiencia energética.

Además, el uso de sistemas de inteligencia artificial y análisis de datos ha permitido a las empresas mejorar la eficiencia en la toma de decisiones y la gestión de los procesos productivos. Por ejemplo, en la industria de la fabricación, el análisis de datos puede utilizarse para predecir fallos en los equipos y programar el mantenimiento preventivo, lo que permite reducir los tiempos de inactividad y aumentar la eficiencia de la producción.

La integración de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la automatización industrial es un tema cada vez más relevante. Una de las principales aplicaciones de la integración de TIC en la automatización industrial es la implementación de sistemas de monitoreo y control remoto.

La tecnología de la nube se está convirtiendo en una herramienta importante en la integración de TIC en la automatización industrial. Según Lin y Zhang (2021), la tecnología de la nube permite la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real, lo que permite la toma de decisiones basadas en datos y la optimización de la eficiencia en la producción.

Además, la integración de TIC también se utiliza para mejorar la eficiencia energética en la automatización industrial. Según el estudio de Mehmood et al. (2018), la implementación de tecnologías de información y comunicación en los sistemas de control de energía de la industria puede aumentar significativamente la eficiencia energética y reducir los costos de energía.

La integración de TIC también se utiliza en la industria manufacturera para optimizar la eficiencia de la cadena de suministro. Según el estudio de Ahmad y Memon (2017), la integración de TIC permite el intercambio de información en tiempo real entre proveedores, fabricantes y clientes, lo que mejora la eficiencia de la cadena de suministro.

b. Uso de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) son herramientas cada vez más utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones y campos, desde la detección de fraudes hasta la clasificación de imágenes y la toma de decisiones empresariales. Según Sathyadevan et al. (2021), la IA y el AA pueden ser utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, como el procesamiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural, la robótica, la industria manufacturera, la medicina y la agricultura.

Una de las aplicaciones más populares de la IA y el AA es el análisis de datos. Según Bhardwaj et al. (2020), "los algoritmos de AA permiten a las empresas analizar grandes cantidades de datos, identificar patrones y tendencias, y tomar decisiones basadas en datos de manera más rápida y precisa". Además, los algoritmos de IA y AA pueden ser utilizados para la predicción de resultados en una variedad de campos, desde la predicción del tiempo hasta la predicción del rendimiento del mercado de valores.

La IA y el AA también son útiles en la detección de anomalías. Según Yang et al. (2021), "los algoritmos de aprendizaje automático son capaces de identificar patrones anormales en los datos, lo que puede ser útil en la detección de fraudes, la detección de intrusiones y la identificación de problemas de seguridad en general".

Otra aplicación popular de la IA y el AA es la automatización de procesos. Según Janarthanan et al. (2021), "los algoritmos de IA y AA pueden ser utilizados para automatizar una amplia variedad de procesos, desde la clasificación de correos electrónicos hasta la automatización de procesos empresariales". La automatización de procesos puede ayudar a reducir los errores humanos y a aumentar la eficiencia.

Además de las aplicaciones ya mencionadas, el uso de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático también está presente en la medicina. Estos algoritmos se utilizan para analizar grandes cantidades de datos médicos y para ayudar en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, en la detección temprana del cáncer de mama, los algoritmos de aprendizaje automático se utilizan para identificar patrones en las imágenes mamográficas que pueden indicar la presencia de tumores.

Otro ejemplo es el uso de algoritmos de inteligencia artificial en la detección de enfermedades cardiovasculares. Los algoritmos de aprendizaje automático se utilizan para analizar los datos de los pacientes, incluyendo los resultados de las pruebas de laboratorio, los registros de electrocardiogramas y los datos de imágenes médicas, con el fin de identificar patrones que puedan indicar una enfermedad cardiovascular.

El uso de algoritmos de inteligencia artificial también está creciendo en el campo de la genómica y la medicina personalizada. Los algoritmos de aprendizaje automático se utilizan para analizar grandes cantidades de datos genéticos y de salud de los pacientes para ayudar a los médicos a desarrollar tratamientos personalizados para enfermedades como el cáncer.

c. Desarrollo de sistemas ciber físicos y de Internet de las cosas (IoT)

El desarrollo de sistemas ciber físicos y de Internet de las cosas (IoT) se ha vuelto una tendencia importante en la industria. Según Khan et al. (2019), "los sistemas ciber físicos son sistemas integrados de ingeniería y computación que coordinan la interacción entre sistemas físicos, humanos y virtuales" (p. 201). Por otro lado, el IoT se refiere a la interconexión de dispositivos a través de Internet para la recopilación y análisis de datos en tiempo real (Sicari et al., 2015).

La combinación de estos dos conceptos ha llevado al desarrollo de soluciones innovadoras para diversos campos, como la salud, la agricultura, la logística, entre otros. Según Wang et al. (2021), el uso de sistemas ciber físicos y del IoT en la agricultura ha mejorado la eficiencia en la gestión de los cultivos y la toma de decisiones. En la industria de la salud, el desarrollo de sistemas ciber físicos y del IoT ha permitido una atención médica más personalizada y accesible (Gao et al., 2021).

La implementación de sistemas ciber físicos y del IoT también ha traído consigo preocupaciones en cuanto a la seguridad de la información y la privacidad de los datos. Por ello, es importante garantizar la protección de la información recopilada y la implementación de medidas de seguridad en los dispositivos conectados a la red (Al-Fuqaha et al., 2015).

d. Aplicación de técnicas de modelado y simulación avanzadas

Las técnicas de modelado y simulación avanzadas se utilizan para modelar sistemas complejos en tiempo real y obtener información valiosa sobre su comportamiento. Según El-Sayed et al. (2019), la simulación es una herramienta importante en la ingeniería de sistemas y puede ser utilizada en diferentes etapas del ciclo de vida del sistema, desde la concepción hasta el mantenimiento.

Una de las técnicas de simulación más utilizadas en la industria es la simulación de eventos discretos (SED), que permite modelar sistemas que cambian su estado de manera discreta en el tiempo (Montgomery, 2018). Otras técnicas de simulación avanzadas incluyen la simulación de sistemas continuos y la simulación basada en agentes (Kumar et al., 2019).

Además de las técnicas de simulación, el modelado es una herramienta importante para comprender el comportamiento de los sistemas complejos. Según Abdollahi et al. (2018), el modelado puede ser utilizado para identificar problemas en el diseño de sistemas, predecir el comportamiento de sistemas y optimizar el rendimiento de sistemas.

El uso de técnicas de modelado y simulación avanzadas ha permitido el desarrollo de sistemas de control más eficientes y efectivos en la industria. Según Singh y Verma (2021), la simulación se utiliza en la etapa de diseño para optimizar el control de los sistemas y reducir los costos de producción.

Otro avance importante en la tecnología de sensores y actuadores inteligentes es el desarrollo de sensores y actuadores basados en la nanotecnología. Estos dispositivos utilizan materiales y estructuras a escala nanométrica para mejorar la sensibilidad, precisión y fiabilidad de los sistemas de control y monitoreo.

Además, los sensores y actuadores inteligentes están siendo cada vez más utilizados en la industria automotriz para mejorar la seguridad y la eficiencia de los vehículos. Por ejemplo, los sistemas de frenado automático y los sistemas de asistencia al conductor se basan en sensores y actuadores inteligentes para detectar y responder a situaciones de emergencia en la carretera.

También hay una creciente demanda de sensores y actuadores inteligentes en la industria médica, donde se utilizan para monitorear la salud de los pacientes y administrar medicamentos de manera más precisa y eficiente.

En cuanto a los sensores, otra tendencia en la tecnología de sensores inteligentes es el desarrollo de sensores de imagen avanzados, como cámaras térmicas y cámaras de alta velocidad, que permiten una mejor detección y análisis de imágenes en tiempo real.

Por último, los avances en la tecnología de los sensores y actuadores inteligentes están impulsando la adopción de la industria 4.0, que se basa en la interconexión de dispositivos y sistemas para lograr una mayor eficiencia, productividad y rentabilidad en la producción industrial.

e. Avances en sensores y actuadores inteligentes

Los sensores y actuadores inteligentes son componentes clave en la automatización industrial, ya que permiten la adquisición y transmisión de datos precisos y en tiempo real, así como el control de los procesos de producción. En los últimos años, ha habido avances significativos en la tecnología de sensores y actuadores inteligentes que han mejorado la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad de los sistemas industriales.

Entre los avances recientes en sensores y actuadores inteligentes se encuentran los sensores ópticos, que utilizan la luz para medir y controlar variables como la temperatura, la presión y la concentración de gases y líquidos. Los actuadores piezoeléctricos también han mejorado, permitiendo un mayor control y precisión en la movilidad de los equipos.

Además, los avances en la tecnología de los sensores inalámbricos han permitido una mayor movilidad y flexibilidad en la recolección de datos, lo que resulta especialmente útil en entornos industriales difíciles de alcanzar. Los sensores inalámbricos también son una herramienta valiosa en la implementación de sistemas de monitoreo remoto.

En cuanto a los actuadores, los avances en la tecnología de los actuadores inteligentes basados en materiales avanzados, como los polímeros electroactivos, han permitido un mayor control y precisión en la producción y el movimiento de objetos. Estos materiales también se están utilizando en la creación de robots blandos, que son más seguros y adaptables en entornos de producción.

Otro avance importante en la tecnología de sensores y actuadores inteligentes es el desarrollo de sensores y actuadores basados en la nanotecnología. Estos dispositivos utilizan materiales y estructuras a escala nanométrica para mejorar la sensibilidad, precisión y fiabilidad de los sistemas de control y monitoreo.

Además, los sensores y actuadores inteligentes están siendo cada vez más utilizados en la industria automotriz para mejorar la seguridad y la eficiencia de los vehículos. Por ejemplo, los sistemas de frenado automático y los sistemas de asistencia al conductor se basan en sensores y actuadores inteligentes para detectar y responder a situaciones de emergencia en la carretera.

También hay una creciente demanda de sensores y actuadores inteligentes en la industria médica, donde se utilizan para monitorear la salud de los pacientes y administrar medicamentos de manera más precisa y eficiente.

En cuanto a los sensores, otra tendencia en la tecnología de sensores inteligentes es el desarrollo de sensores de imagen avanzados, como cámaras térmicas y cámaras de alta velocidad, que permiten una mejor detección y análisis de imágenes en tiempo real.

Por último, los avances en la tecnología de los sensores y actuadores inteligentes están impulsando la adopción de la industria 4.0, que se basa en la interconexión de dispositivos y sistemas para lograr una mayor eficiencia, productividad y rentabilidad en la producción industrial.

6. Las mini computadoras

Existen alternativas a los PLC que podrían desempeñar sus funciones en ciertas aplicaciones. Una de las alternativas más interesantes es el uso de computadoras. Utilizar una computadora personal para una aplicación industrial no sería adecuado, sin embargo, existen ordenadores que tienen un enfoque diferente, brindándole una alternativa al uso de microcontroladores en procesos especializados.

Las coloquialmente llamadas minis PC 's son una buena opción para disfrutar de toda la potencia de un ordenador, pero recurriendo a un tamaño compacto. Pueden ser utilizadas como servidores de contenidos, conectados al televisor y, por supuesto, como ordenador al uso. Raspberry Pi es uno de los productos más populares para estos fines, tanto por su atractivo precio como por las enormes opciones que trae consigo. Pero hasta este punto no podríamos suplir a un microcontrolador con una Raspberry Pi, sin embargo, una Raspberry Pi tiene la variante respecto a una PC común y corriente en que posee entradas y salidas digitales, por lo que se pueden manejar procesos que requieren entradas y salidas. A pesar de que el enfoque de este tipo de dispositivos es diferente, una mini PC puede desempeñar como un controlador lógico en algunas aplicaciones. (Castro, 2014)

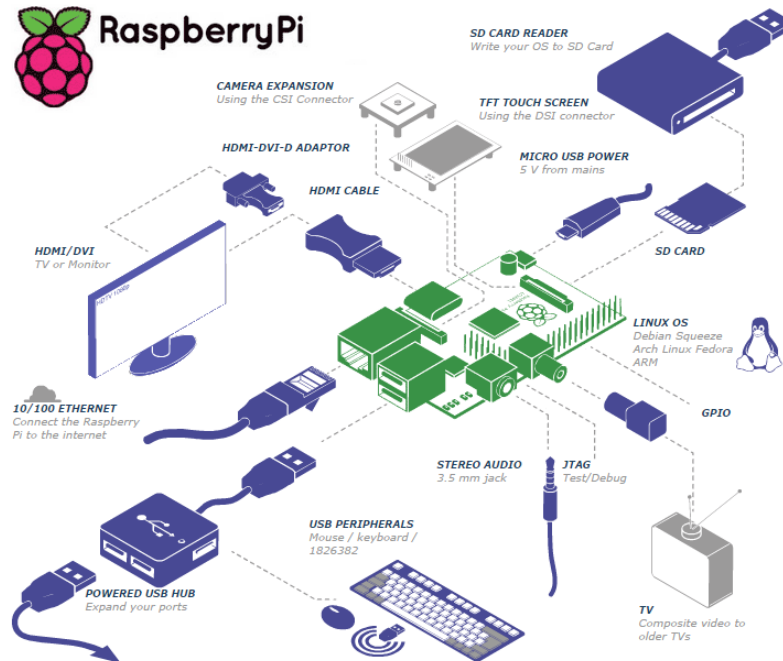


Ilustración 18. Esquema básico de una Raspberry Pi.

Imagen obtenida de

http://4.bp.blogspot.com/kqTrEWOxwB4/VECIOv2_uOI/AAAAAAAAAGM/vttPS2d_tLs/s1600/rasp.png

7. Mini computadoras industriales basadas en Raspberry Pi.

Existen otras alternativas basadas en la Raspberry Pi, la más interesante y que me llamó la atención y es por la cual trabajaré con ella es la UniPi, en su modelo específico la Neuron. La Neuron es una línea de productos de PLC (Programmable Logic Controller), unidades construidas para ser universales y utilizadas tanto en aplicaciones Smart Home y Business como en sistemas de automatización. Permite controlar local y remotamente los sistemas y dispositivos conectados a través de interfaces estándar de entrada / salida y otras. Las unidades Neuron controlan estos dispositivos basándose en un programa establecido por el usuario final de la empresa de instalación. (UniPi.technology, 2016)

Toda la línea de productos se basa en el minicomputador Raspberry Pi 3, que sirve como una unidad de control maestro de módulos independientemente separados lógicamente. Estos módulos tienen su propio procesador y memoria y son capaces de operar de forma independiente en RPi 3, sin embargo, comparado con RPi 3, no tienen tal rendimiento informático, interfaz de red y la posibilidad de control remoto y proporcionan sólo funcionalidad limitada. Todo el sistema de módulos y RPi 3 se monta en caja de aluminio **eloxado** correctamente conectada a tierra. El producto tiene un grado de **protección IP20**. (UniPi.technology, 2016)



Ilustración 19. Imagen de la UniPi Neuron S10X, una mini computadora industrial con protección IP20. Imagen obtenida de https://www.unipi.technology/upload/produktv/Neuron/Neuron_S10x-side.jpg

Algunas de las características de la UniPi Neuron por mencionar algunas son:

- Interfaces de entrada/salida: La UniPi Neuron cuenta con una "amplia gama de interfaces de entrada/salida para conectar diversos sensores y actuadores, incluyendo 8 entradas digitales, 4 salidas de relé y una interfaz 1-Wire para hasta 15 sensores" (UniPi Technology, s.f., párr. 1).
- Potencia de procesamiento: "La UniPi Neuron está alimentada por un procesador ARM Cortex-A8, que ofrece una alta potencia de procesamiento y un rendimiento excepcional para aplicaciones industriales" (UniPi Technology, s.f., párr. 2).
- Compatibilidad con software de código abierto: La UniPi Neuron es compatible con una "amplia gama de paquetes de software de código abierto, lo que facilita el desarrollo e implementación de soluciones personalizadas" (UniPi Technology, s.f., párr. 3).
- Conectividad: La UniPi Neuron cuenta con conectividad Ethernet, USB y RS485, y también es compatible con la conectividad WiFi para la transmisión de datos y la comunicación con otros dispositivos (UniPi Technology, s.f., párr. 4).
- Ampliabilidad: La UniPi Neuron es una plataforma modular que permite una fácil expansión y personalización según las necesidades del usuario. Se pueden agregar módulos adicionales para aumentar el número de entradas/salidas o para agregar funcionalidad adicional" (UniPi Technology, s.f., párr. 5).

Según un artículo de Techopedia, "Una minicomputadora es un término general para cualquier sistema informático de tamaño pequeño o mediano que es más pequeño y menos costoso que una computadora principal o una supercomputadora, pero más grande y más costoso que una microcomputadora o una computadora personal" (Techopedia, 2022).

Además, otro artículo de la revista IEEE Spectrum indica que "Las mini computadoras son una clase de computadoras diseñadas para satisfacer las necesidades de procesamiento de datos de un pequeño grupo de usuarios, como un departamento o una pequeña empresa. Son capaces de realizar muchas de las mismas tareas que las computadoras más grandes, pero a un costo y tamaño más reducidos" (IEEE Spectrum, 2021).

Estas mini computadoras pueden ejecutar una variedad de sistemas operativos, incluidos Linux, Windows y Android, y están equipadas con una variedad de interfaces de entrada y salida, como puertos Ethernet, USB y HDMI. Según un informe de Market Research Future, "Se espera que el mercado mundial de mini computadoras experimente un crecimiento significativo durante el período de pronóstico debido a su creciente demanda en aplicaciones de automatización industrial, Internet de las cosas (IoT) y dispositivos inteligentes" (Market Research Future, 2022).

D. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen puede haber sido generada de muchas maneras, por ejemplo, fotográficamente, o electrónicamente, por medio de monitores de televisión. El procesamiento de las imágenes se puede en general hacer por medio de métodos ópticos, o bien por medio de métodos digitales, en una computadora. (Gonzalez, R.C., Wintz P, 1996).

Previamente hacer el procesamiento de imagen es necesario filtrar la imagen, a este conjunto de técnicas englobadas dentro del preprocesamiento de imágenes cuyo objetivo fundamental es obtener, a partir de una imagen origen, otra final cuyo resultado sea más adecuado para una aplicación específica mejorando ciertas características de la misma que posibilite efectuar operaciones del procesado sobre ella. (Acharya, 2005).

Los principales objetivos que se persiguen con la aplicación de filtros son:

- ✓ Suavizar la imagen
- ✓ Eliminar ruido

- ✓ Realzar bordes
- ✓ Detectar bordes

1. Filtrado en el dominio de la frecuencia

Los filtros de frecuencia procesan una imagen trabajando sobre el dominio de la frecuencia en la Transformada de Fourier de la imagen. Para ello, ésta se modifica siguiendo el Teorema de la Convención correspondiente: (Rafael C. González, 2009)

Según, Kaur y Singh (2018) destacan que el filtrado en el dominio de la frecuencia puede ser utilizado para reducir las características no deseadas de una imagen, como las sombras o los bordes de otros objetos. De esta manera, en el contexto de la implementación de un contador de unidades de block, el filtrado en el dominio de la frecuencia podría ser utilizado para eliminar los bordes de otros objetos que puedan interferir con la detección de los bloques, mejorando así la precisión del conteo.

El filtrado en el dominio de la frecuencia podría ser una técnica útil para mejorar la calidad de la imagen y reducir el ruido, lo que a su vez aumentaría la precisión del conteo de unidades de block en el proceso de implementación del contador de bloques por medio de procesamiento de imágenes.

$$G(u, v) = F(u, v) * H(u, v)$$

Ecuación 1: Teorema de la convolución.

El filtro en el dominio de la frecuencia puede ser: Filtro Pasa baja, pasa alta o pasa banda.

2. Filtrado en el dominio del espacio

Los filtros en el dominio del espacio se llevan a cabo directamente sobre los píxeles de la imagen. En este proceso se relaciona, para todos y cada uno de los puntos de la imagen, un conjunto de píxeles próximos al píxel objetivo con la finalidad de obtener una información útil, dependiente del tipo de filtro aplicado, que permita actuar sobre el píxel concreto en que se está llevando a cabo el proceso de filtrado para, de este modo, obtener mejoras sobre la imagen y/o datos que podrían ser utilizados en futuras acciones o procesos de trabajo sobre ella.

a. Filtro paso bajo:

Este filtro es utilizado para eliminar ruido o detalles pequeños de poco interés puesto que sólo afecta a zonas con muchos cambios. La frecuencia de corte se determina por el tamaño del kernel y sus coeficientes. (Acharya, 2005)

b. Filtro paso alto:

Intensifica los detalles, bordes y cambios de alta frecuencia, mientras que atenúa las zonas de tonalidad uniforme. Esto permite una mejor identificación posterior de los objetos que se encuentren en la imagen, puesto que el brillo se hace mayor en las zonas con frecuencias más altas, al mismo tiempo que se oscurecen las zonas de frecuencias bajas. (Acharya, 2005)

c. Realce de bordes por desplazamiento y diferencia:

sustrae de la imagen original una copia desplazada de la misma. Así, es posible localizar y hacer resaltar los bordes existentes y que se quieran obtener según el modelo de kernel aplicado: (Acharya, 2005)

d. Realce de bordes mediante Laplace:

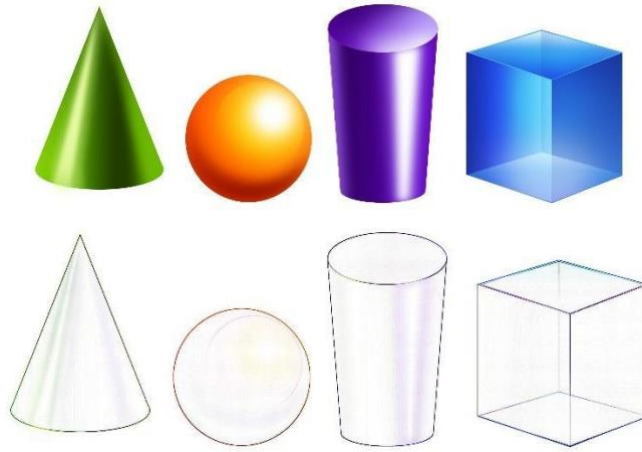
Este tipo de filtros realza los bordes en todas direcciones (los resultados que se obtienen pueden considerarse como una “suma” de los obtenidos tras aplicar todos los modelos del tipo anterior). En esta ocasión se trabaja con la segunda derivada, que permite obtener unos mejores resultados, a pesar del aumento del ruido que se produce en la imagen. (Acharya, 2005)

e. Resalte de bordes con gradiente direccional:

Empleado para destacar y resaltar con mayor precisión los bordes que se localizan en una dirección determinada. Trabaja con los cambios de intensidad existentes entre píxeles contiguos. (Acharya, 2005)

f. Detección de bordes y filtros de contorno (Prewitt y Sobel):

Al igual que los anteriores, se centra en las diferencias de intensidad que se dan pixel a pixel. Son utilizados para obtener los contornos de objetos y de este modo clasificar las formas existentes dentro de una imagen. Este tipo de filtros requieren un menor coste computacional. (Acharya, 2005).



*Ilustración 20. Imagen original y luego se le aplicó un filtro de Sobel-Feldman para obtener los bordes.
Imagen obtenida de <https://es.testsworld.net/test-psicotecnico-de-figuras.html>*

V. HARDWARE

A. METODOLOGÍA

En este sub módulo del proyecto se buscó instalar adecuadamente todas las partes que conforman el proyecto, que son: la cámara, el sensor de proximidad y la mini computadora UniPi Neuron.

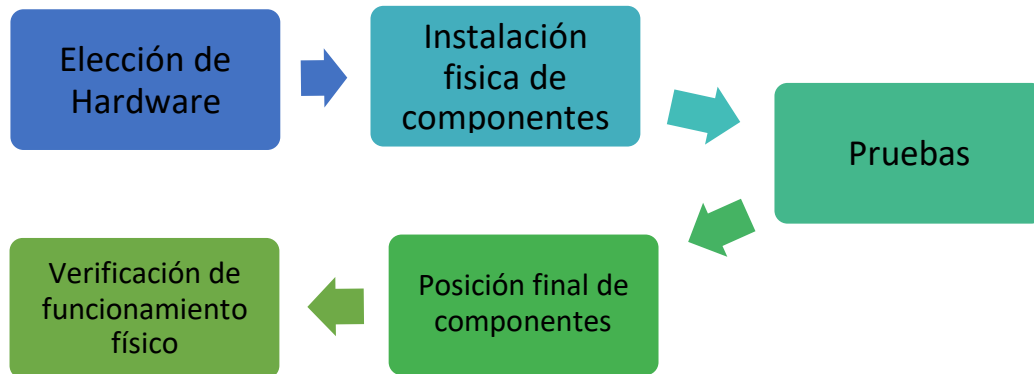


Ilustración 21. Metodología utilizada en el sub módulo del hardware.

B. SELECCIÓN DE HARDWARE

Una de las partes fundamentales del proyecto es seleccionar el correcto hardware para poder tener resultados verídicos para esta parte se subdivide en tres partes fundamentales donde influyó la elección: la cámara, mini computadora, y el sensor.

1. Elección de cámara

Para la elección de la cámara se tomaron ciertos factores, como la resolución de la imagen capturada, por las condiciones del lugar que pudiera estar expuesta en la intemperie y sobre todo que pudiera comunicarse de una manera eficiente a la mini computadora. Para simplificar esto se ha realizado una tabla de caso de estudio en el cual se decide qué cámara utilizar.

Tabla 1. Estudio de caso de elección de cámara para captura de fotografías.

Se califica cada uno de los aspectos en una escala de 1-10 para cada cámara, y la calificación se multiplica por la ponderación de importancia de cada aspecto, que varía de 0-1 según su importancia, y se encuentra indicada entre un paréntesis.

Cámara	Costo (0.2)	Protección intemperie (0.9)	Instalación y ensamblaje (0.2)	Alimentación (0.3)	Comunicación mini computadora (0.5)	Calidad de imagen (0.7)	Total
Webcam convencional	1	1	3	5	5	7	10.6
Cámara de red	8	9	7	5	9	7	22
Cámara de Raspberry Pi	3	1	5	9	7	5	12.2

Por lo tanto, se eligió la opción de la cámara web, más que todo por la protección a la intemperie, ya que en las pruebas preliminares es muchísimo más fácil comunicarte por medio de protocolos de internet para obtener la foto, que por USB como lo es con la webcam convencional. La resolución de la foto obtenida también es bastante buena, considerable y útil para el objetivo que se desea, las especificaciones de la cámara se encuentran en el Anexo 3.

2. Elección de mini computadora

Para la mini computadora los aspectos que nos importaban eran de que en ella se pudiera programar con un lenguaje orientado a objetos, ya que por la naturaleza del proyecto es necesario conectarse a una base datos para guardar las fotos obtenidas por la cámara. De igual forma por las condiciones físicas donde esta estaría instalada también se buscó una mini computadora que de alguna forma tuviera una protección IP, así mismo la aplicación se le puede considerar sencillo ya que solo cuenta con una entrada, que es la entrada del sensor, por lo que otro aspecto que se tenía en mente era el precio de la misma que no fuera excesivo comparado con un PLC con protocolos de red.

Con fin de simplificar esto se ha realizado de igual manera una tabla de estudio de caso en la cual se evalúan estos criterios.

Tabla 2. Estudio de caso de elección de mini computadora.

Se califica cada uno de los aspectos en una escala de 1-10 para cada modelo, y la calificación se multiplica por la ponderación de importancia de cada aspecto, que varía de 0-1 según su importancia, y se encuentra indicada entre un paréntesis.

Mini Computadora	Costo (0.4)	Protección intemperie (0.9)	Instalación y ensamblaje (0.2)	Alimentación (0.3)	Soporta POE (0.5)	Módulo entradas y salidas (0.7)	Total
UniPi Neuron S10x	2	8	8	5	8	9	21.4
Raspberry Pi 3	8	1	5	6	8	5	14.4
LOGO!	1	9	9	5	1	9	18.6

Por lo tanto, se eligió como mini computadora para este proyecto la UniPi Neuron S10x, sus especificaciones se encuentran en el Anexo 4. La UniPi Neuron cuenta con una Raspberry Pi 3 internamente pero adicional también cuenta con una protección certificada IP 20, adicional el proyecto no cabe lugar a algo tan complejo como un LOGO!, así mismo gracias a que tiene ciertas características de la Raspberry Pi la hace un poco más fácil de manejar y en general más familiarizado para poderme comunicar a la base de datos.

3. Elección de sensor

Para el sensor se trató de ser más pragmático y se buscó lo que existe en el mercado a la mano, ya que en realidad solo necesitamos un pulso cuando la tabla se encuentre debajo de la cámara en el momento idóneo, por lo tanto, elegimos el sensor de proximidad PSN17-8DN de la marca Autonics, el cual se encuentra disponible en el país, adicional es de 24 V. por lo que no debemos de preocuparnos de otra fuente de voltaje, ya que puede compartir con la Neuron.



Ilustración 22. Sensor elegido modelo Autonics PSN17-8DN

Imagen obtenida de

http://www.autoniconline.com/image/cache/catalog/PSN17_5_DN_1-228x228.jpg

C. INSTALACIÓN FÍSICA DE COMPONENTES

Luego de decidir que componentes físicos eran los ideales para el proyecto se procedió por colocar todo en su lugar de manera segura, y se hicieron pruebas de que todo funcionara adecuadamente, el sensor fue colocado por debajo, cuando pasa la tabla sobre un pedazo de hembra de hierro fundido mecánicamente provoca que se accione el sensor de proximidad.



Ilustración 23. Imagen donde muestra instalación de la cámara de red.



Ilustración 24. Muestra cómo se mueven las tablas dentro de la línea de producción.

D. VERIFICACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO

Tras instalar el sensor, y la cámara se verificó su correcto funcionamiento, por lo que se obtuvieron algunas imágenes para ver si se podría observar la tabla completa de blocks.



Ilustración 25. Muestra fotografía de la tabla recién producidas.

Al observar que se obtenían de manera correcta las fotos, se dio por instalado toda la parte del hardware del proyecto.

VI. SOFTWARE

A. METODOLOGÍA

Este sub módulo del proyecto se enfocó en realizar todo lo relacionado con el desarrollo del software del sistema. En el siguiente diagrama se puede observar el flujo de trabajo trazado para este submódulo y las tareas a desarrollar.

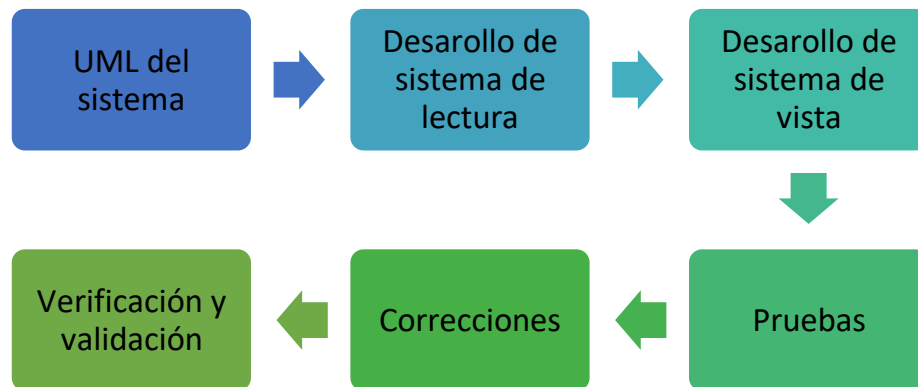


Ilustración 26. Metodología utilizada en el sub módulo de la parte de software del proyecto.

B. UML DEL SOFTWARE

El software se divide en tres grandes partes, un software es el encargado de recibir la señal del sensor y tomar la fotografía en el momento justo y guardar esta fotografía en la base de datos. La segunda es el desarrollo de la base de datos que es importante para guardar los datos y la tercera parte es el desarrollo del sistema donde el usuario final observará en síntesis la cantidad de bloques que existen en determinado rango de fecha y hora.

1. Diagrama de base de datos

La base de datos consta de 4 tablas como se aprecia en la ilustración 20, la tabla “Photo_Table” es la encargada de guardar la foto, cantidad de blocks de esa foto, pero así mismo está relacionada a dos tablas que corresponden al tipo de block y a la máquina que de la cual se están guardando los datos, esto pensando que eventualmente el sistema podría estar instalado en varias plantas y lo que se tendría que hacer es identificar cada máquina dentro de la base de datos. Por último, existe una cuarta tabla llamada “System” la cual es la encargada de servir como una bitácora de que el sistema está funcionando bien, esta se le ingresa un dato con la hora actual para control solamente.

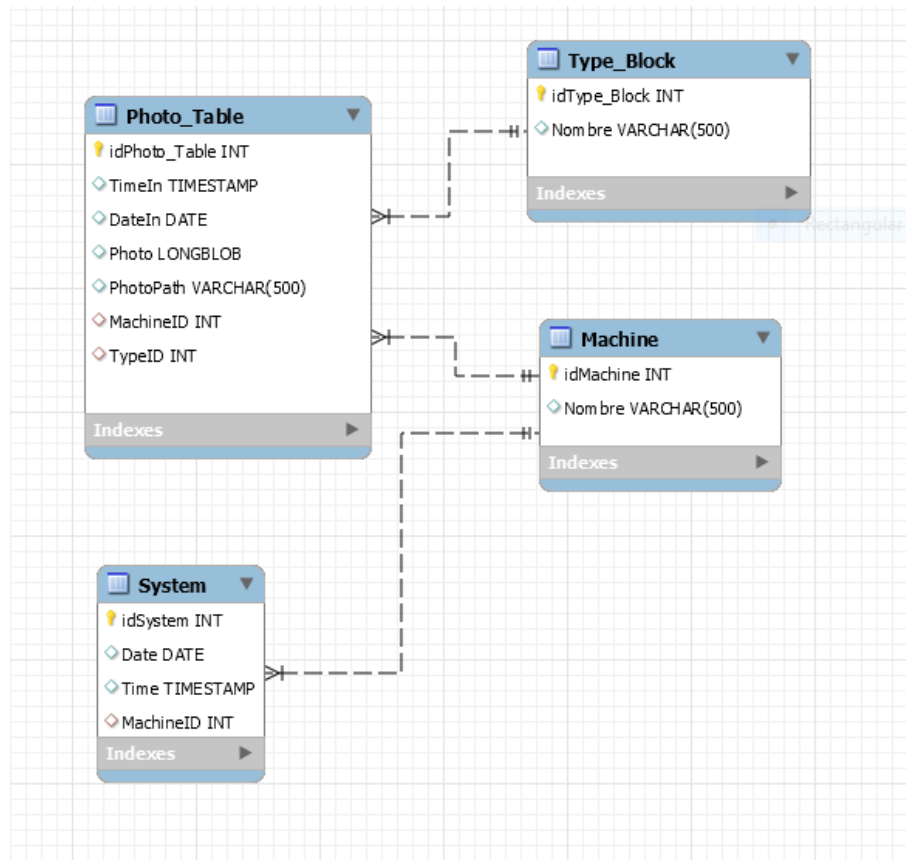


Ilustración 27. Diagrama de la base de datos implementada en el sistema.

2. Diagrama de programa en mini computadora

Como se mencionó anteriormente el software consta de tres partes, en la mini computadora, por no tener todos los recursos necesarios el programa debe ser muy simple. La finalidad de este sistema es leer en todo momento la entrada del sensor y en caso este cambie toma la foto, por lo que se comunica con la cámara por medio de protocolo de TCP/IP y obtiene la foto, guarda la foto, obtiene la hora de la computadora en ese momento y guarda los datos en la base de datos, solamente, en este sistema no se desarrolló ningún procesamiento de imagen.

A manera de hacer un poco más robusto nuestro sistema, el sistema paralelamente guarda un campo en la base de datos con el tiempo de momento en la tabla “System” eso no tiene sino la finalidad de ir guardando hasta el último momento cuando el sistema funcionaba adecuadamente, esto lo hace independiente del sensor, la idea es saber si estamos conectados a la base de datos y que el módulo se encuentra en normalidad.

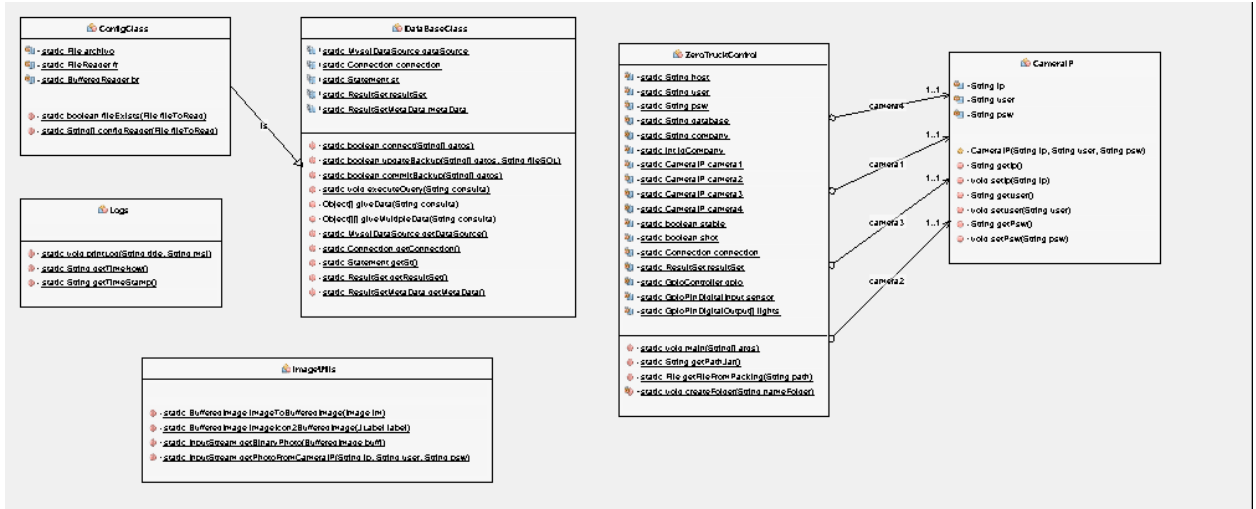


Ilustración 28. Diagrama UML del sistema en la mini computadora

3. Diagrama de programa para visualizar resultado

El tercer programa se refiere al sistema que el usuario interactuara para obtener la cantidad de blocks entre un rango de fechas y horas determinadas, este sistema adicional de ser amigable con el usuario es el encargado de efectuar el procesamiento de imagen, las imágenes están guardadas, pero no se sabe aún cuántos blocks tienen internamente por lo que paralelamente revisa que imágenes no tienen ese cálculo, realiza el procesamiento de imagen y cambia el valor de la columna en la fila correspondiente en la base de datos. Por otra parte, también estos datos pueden ser exportados a una hoja de datos Excel en manera de reportes.

Otra de las consultas que puede hacer el usuario en este programa es verificar si el sistema estuvo funcionando en algún tiempo determinado, para esto, el sistema evalúa la tabla “System” de la base de datos y despliega el TIMESTAMP.



Reportes

Data Base

Excel

Generar

Jun 1, 2017

Jul 19, 2017

Salir

Control entradas/salidas

Codigo Unico	Fecha y Hora	Foto Cámara 1
1	miércoles 14 junio 01:23 PM	
2	miércoles 14 junio 01:27 PM	

Ilustración 30. Imagen del programa que será manipulado por el usuario.

VII. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

A. METODOLOGÍA

Este sub módulo del proyecto se enfocó en realizar todo lo relacionado con el procesamiento de imagen para poder determinar la cantidad de bloques. En el siguiente diagrama se puede observar el flujo de trabajo trazado para este submódulo y las tareas a desarrollar.

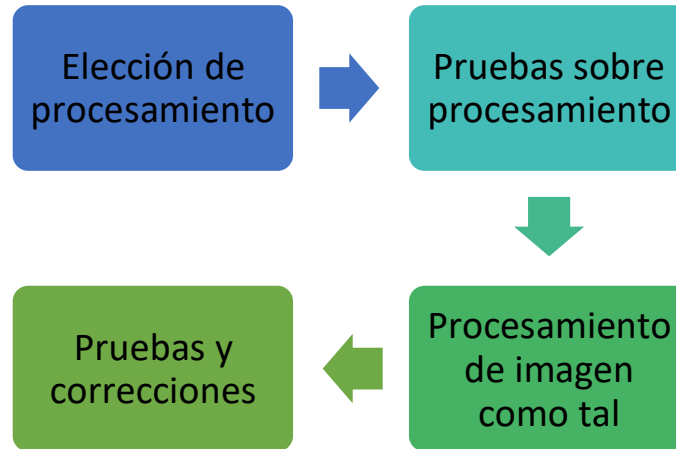


Ilustración 31. Metodología utilizada en el sub módulo de la parte de procesamiento de imagen.

B. ELECCIÓN DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN

Para poder elegir correctamente el procesamiento de imagen se utilizó Matlab, y ahí se probaron distintos procesamientos de imagen, en los cuales lo que evaluamos es la exactitud, rapidez y precisión.

Tabla 3. Estudio de caso de elección de procesamiento de imagen.

Se califica cada uno de los aspectos en una escala de 1-10 para cada modelo, y la calificación se multiplica por la ponderación de importancia de cada aspecto, que varía de 0-1 según su importancia, y se encuentra indicada entre un paréntesis.

Procesamiento	Exactitud (0.7)	Rapidez (0.2)	Implementación (0.4)	Precisión (0.6)	Total
Robert Cross	1	7	5	1	4.7
Sobel-Feldman	4	6	6	3	8.2
Laplaciano	3	7	7	2	7.5
Kernel no Lineal	8	3	4	5	10.8

Por lo tanto, se eligió el Kernel no lineal para el procesamiento de imagen, en el siguiente apartado enseñaremos unas ilustraciones de comparación.

C. PROCESAMIENTO DE IMAGEN

A continuación, se mostrará algunas ilustraciones donde se aplicó procesamiento de imagen para encontrar los bordes.



Ilustración 32. Imagen original.

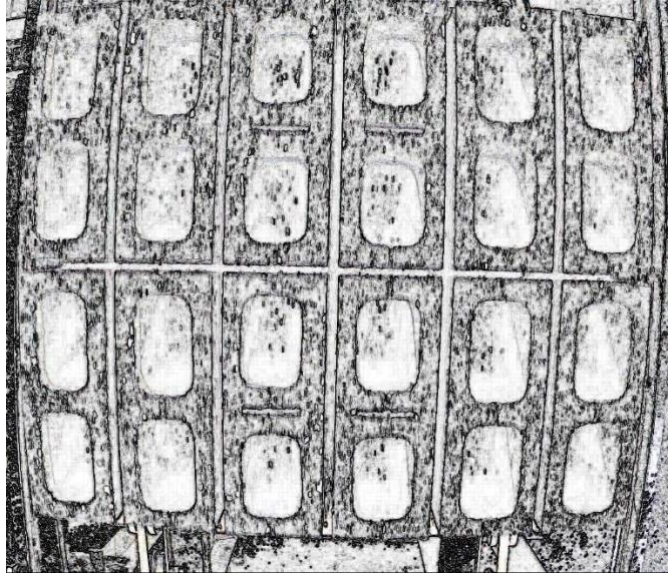


Ilustración 33. Utilizando Sobel-Feldman

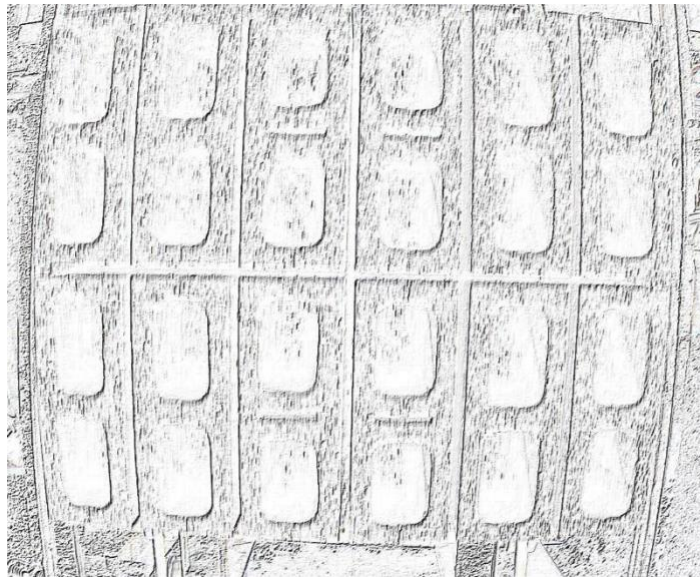


Ilustración 34. Utilizando Robert Cross

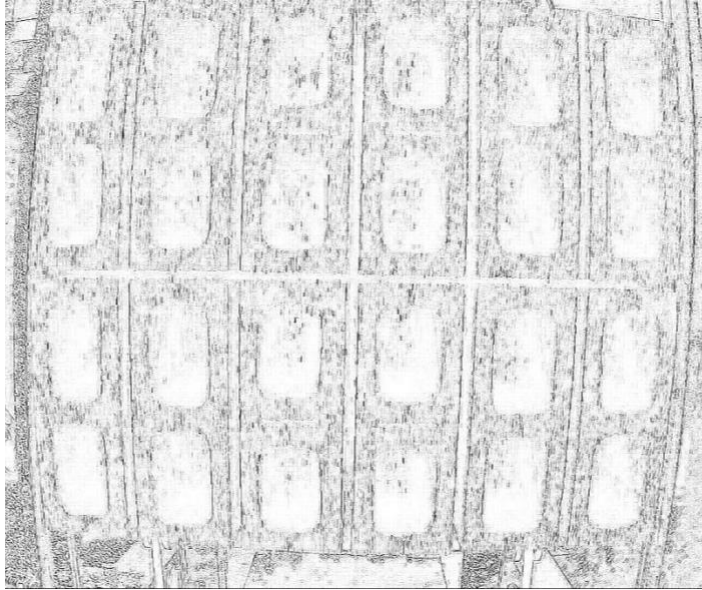


Ilustración 35. Utilizando Laplaciano 3x3

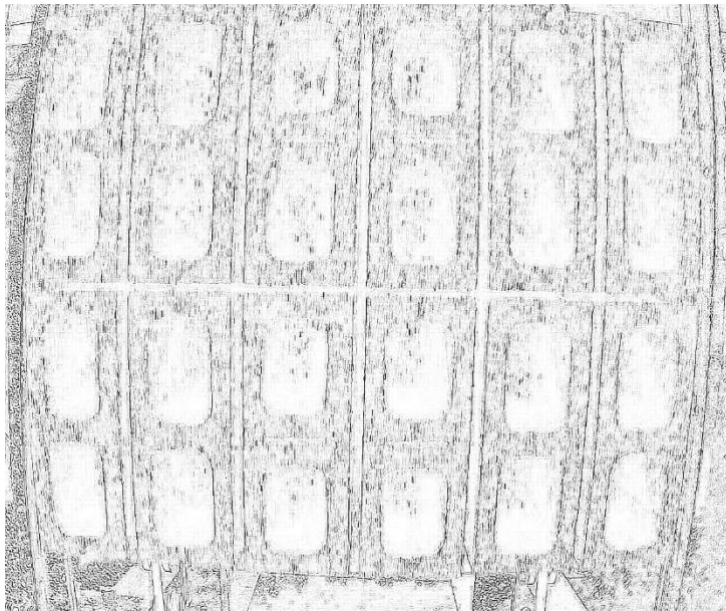


Ilustración 36. Utilizando Laplaciano 5x5.

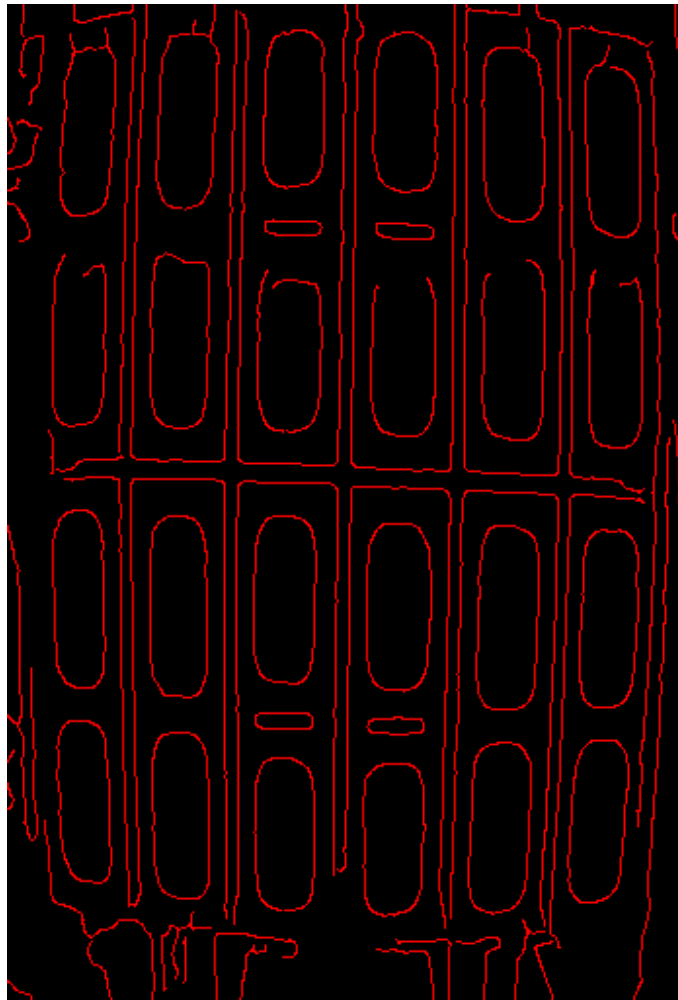


Ilustración 37. Utilizando Kernel no lineal.

VIII. ANÁLISIS DE COSTOS

Como todo proyecto se busca realizar la solución más integral al menor costo posible es importante hacer un análisis del costo del proyecto.

A. COSTO DEL PROYECTO

La mayoría de elementos utilizados para la realización del proyecto fueron adquiridos en el mercado local, no obstante, se decidieron importar algunos componentes, por facilidad de adquisición o porque el mercado local no ofrecía los mismos. En la siguiente tabla se muestra la totalidad de materiales utilizados, así como el costo de cada uno y la inversión total.

Tabla 4. Costo total del proyecto.

Cantidad	Descripción material	Distribuidor en Guatemala (recomendado)	Precio	Subtotal
1	Fuente de voltaje de 24V @ 4 A.	FPK	Q 250.00	Q 250.00
1	UniPi Neuron S10x	Importado	Q 1,700.00	Q 1,700.00
1	Memoria microSD 32GB	Intelaf	Q 125.00	Q 125.00
1	Sensor de proximidad	LS Flex	Q200	Q 200.00
1	Cámara de red	Intcomex	Q 800.00	Q 800.00
1	Caja de cable de red	Electroma	Q 600.00	Q 600.00
1	Caja de registro	Electroma	Q 150.00	Q 150.00
			PRECIO TOTAL	Q 3,825.00

Como se puede observar, se realizó una inversión total de Q3,825.00, equivalente a \$510.00.

IX. CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal del proyecto, ya que se implementó un procesamiento robusto para calcular la cantidad de bloques producidos al final de la línea de producción, así como también un software para poder manipularlo y seleccionar entre dos cantidades de interés.
- Se desarrolló una base de datos para poder guardar una fotografía con fecha y TIMESTAMP.
- Por medio de un filtro y procesamiento de imagen se logró saber la cantidad de bloques dentro de una imagen.
- Se desarrolló un sistema amigable para que un usuario pueda saber cuántos bloques se produjeron en determinado rango de fecha y hora.
- Se instaló una mini computadora con protección IP20 para poder manipular una cámara al detectar un sensor de proximidad.
- Se implementó una cámara de red para poder capturar la tabla completa de 12 unidades de block.

X. BIBLIOGRAFÍA

Abdollahi, A., Hosseinabadi, S. R., & Aghaie, A. (2018). *Modeling and simulation: a tool for system engineering*. *Procedia Computer Science*, 144, 44-52. doi: 10.1016/j.procs.2018.10.072

Acharya, T. R. (2005). *Image processing: principles and applications*. En T. R. Acharya. John Wiley & Sons.

ACI. (2014). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute. Recuperado de <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/ACI211.1R-91.pdf>

Afolabi, I. S., Ibrahim, A. O., & Olawale, D. O. (2019). *Design and Fabrication of Hydraulically Operated Machine for Making Interlocking Blocks*. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 58(1), 1-12.

Aleem, A., Iqbal, M. A., & Zafar, M. A. (2016). *Effect of cement content and curing age on strength of concrete masonry columns*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(7), 926-934.

Al-Mutairi, N. Z., & Al-Qahtani, A. M. (2018). *Design and fabrication of a fully automated compressed stabilized earth block machine*. *Construction and Building Materials*, 168, 784-791.

American Concrete Institute (ACI). (2013). *ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Recuperado de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=31811&Format=PDF>

Arayici, Y., & Javadzadeh, M. (2018). *A review on the recent advances in block manufacturing and new trends in concrete block production*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 18(3), 990-1003. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.10.010>

Asociación Española de Fabricantes de Sensores, Componentes y Sistemas para Automoción (SERNAUTO). (s.f.). *Sensores y transductores*. Obtenido de <http://www.sernauto.es/instrumentacion-y-control/sensores-y-transductores/>

Asociación Nacional de Protección contra Incendios. (2020). NFPA 101: Código de Seguridad Humana. Recuperado de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>

ASTM International. (2018). *Standard Specification for Concrete Building Blocks (C90/C90M-18)*. https://doi.org/10.1520/C0090_C0090M-18

Bai, L., Liu, Y., & Xie, J. (2021). *Application of artificial intelligence in supply chain management: a review*. International Journal of Production Research, 59(2), 416-432. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1822119>

Ballaney, P. L. (2009). *Instrumentación y control de procesos*. Tata McGraw-Hill Education.

Bequette, B. W. (2003). *Process control: modeling, design, and simulation*. Prentice Hall.

Búrbano, M. (2016). *Controladores Lógicos. Introducción a los controladores lógicos programables*. Guatemala, Guatemala, Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

Castro, A. (23 de 1 de 2014). *Computer hoy*. Obtenido de Raspberry Pi: <http://computerhoy.com/noticias/hardware/que-es-raspberry-pi-donde-comprarla-como-usarla-8614>

Chang, J. (2020). *Sensor and Transducer Selection for Industrial Automation*. Obtenido de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=18032>

Chen, Y., Wu, D., & Gao, W. (2019). *A hybrid intelligent system for real-time fault diagnosis of rolling bearing based on data acquisition and analysis*. *IEEE Access*, 7, 29-43.

Delgado, D. (2017). *Sensores y transductores para la automatización industrial*. Obtenido de <https://www.ingemecanica.com/sensores-y-transductores/>

Desrochers, S., Gagne, C., & Rousseau, A. (2020). *Sustainable urban logistics: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120444. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120444>

Dey, S. (2018). *Digital Signal Processing: Theory and Practice*. John Wiley & Sons.

Díaz, R. (2017). *The Importance of Transducers in the Industrial Sector*. Obtenido de <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/15553/The-Importance-of-Transducers-in-the-Industrial-Sector.aspx>

Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., & Beale, R. (2004). *Human-computer interaction*. Pearson Education Limited.

Duggan, B. (2019). *The Pros and Cons of Wired Logic Controllers*. Obtenido de <https://www.taltech.com/automation-blog/the-pros-and-cons-of-wired-logic-controllers>

Edgar, G. (Marzo de 2016). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/DocumentosAreas4/definicion-de-plc-historia-y-tipos>

El-Sayed, A. A., Abdel-Salam, T. M., & Ismail, M. A. (2019). *System modeling and simulation: a review*. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(1), 1-14. doi: 10.1016/j.asej.2018.02.002

Fattah, M. Y. A., Yassin, A. A., & Ahmed, S. S. (2021). *Design and Fabrication of a Semi-Automatic Concrete Block Making Machine Using Local Materials*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(8), 71-79.

Fernández, J. (2019). *Programación de PLC: ¿Qué es, para qué sirve y cómo se hace?* Obtenido de <https://www.mecatronicallab.es/programacion-de-plc-que-es-para-que-sirve-y-como-se-hace/>

García, M. (2018). *Aplicaciones de los controladores lógicos programables (PLC)*. Obtenido de <https://www.siemens-healthineers.com/es/integrated-diagnostics/especialidades/automatizacion/aplicaciones-de-los-plc>

Ghumare, P., Munde, S., & Muke, S. (2019). *Experimental investigation of concrete block manufacturing using fly ash and cement*. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 8(2), 2155-2160.

Gomaa, A. M., Kandil, A. A., & Ahmed, E. Y. (2017). *Experimental study on the automatic mixing and casting unit for cement-bonded composites*. *Construction and Building Materials*, 140, 269-277.

Gómez-Zamorano, L., Carrillo-Briceño, J. D., Fuentes-Talavera, F. J., & Rodríguez-Rojas, M. I. (2019). *3D Printing of Concrete Blocks with Curved Shapes for Architectural Purposes*. In *Construction Materials* (pp. 3-17). Springer, Cham.

González, A. (2017). *Introducción a los controladores lógicos programables (PLC)*. Obtenido de

<https://www.mundoplcl.com/introduccion-a-los-controladores-logicos-programables-plc/>

González, R. (2018). *The Role of Temperature Sensors in Industrial Applications*. Obtenido de <https://www.processindustryforum.com/article/the-role-of-temperature-sensors-in-industrial-applications>

Guzmán, C. J., & Bárcenas, E. L. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la producción de bloques de concreto en el municipio de Tiquipaya*. *Revista de Investigación Académica*, 17, 1-8. <https://doi.org/10.48143/ria.v17i0.1777>

Hernández, F. (2020). *Controladores de lógica cableada: ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wire-logic-controller>

Huang, H., Peng, H., & Zhang, S. (2020). *A framework for intelligent logistics management based on the internet of things*. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(7), 2733-2744. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01513-8>

IEEE Spectrum. (2021). *Mini Computers*. Recuperado el 22 de marzo de 2023, de <https://spectrum.ieee.org/topic/computing/hardware/mini-computers>

International Organization for Standardization. (2015). *Concrete masonry units — Part 1: Specification (ISO 218-1:2014)*. <https://www.iso.org/standard/58184.html>

Jain, P. K. (2015). *A review on study of manufacturing of clay bricks with waste materials*. *International Journal of Scientific Research*, 4(1), 13-15.

Jiao, J., Zhang, H., & Cao, J. (2016). *Adaptive fuzzy logic control for nonlinear systems: Design and analysis*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 24(1), 1-10.

Jones, K. (2020). *Controladores lógicos programables (PLC): ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://blog.ingeautomation.com/controladores-logicos-programables-plc-ventajas-y-desventajas/>

Kalyoncu, A. S., Arslan, G., & Akbulut, H. (2017). *Investigation of using granulated copper slag as fine aggregate on the mechanical properties of concrete masonry units*. Construction and Building Materials, 151, 534-543.

Kanchana, S., Anand, K., & Malarvizhi, M. (2017). *Industrial Ethernet: A review on emerging technologies*. In *2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)* (pp. 44-49). IEEE.

Kezunovic, M., & Shahidehpour, M. N. (2012). *Modern energy management systems: application of simulation tools in designing and testing smart grid technologies*. IEEE Power and Energy Magazine, 10(2), 43-51. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6140681>

Khan, M. S., Ali, M. N., & Alnuaimi, M. Y. (2019). *Sustainable design of concrete block manufacturing by optimizing the energy and thermal comfort*. Energy, 178, 317-331.

Kruger, J., & Lennox, B. (2002). *Robotics and automation in the food industry: current and future technologies*. *Journal of food engineering*, 56(3), 195-216. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00050-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00050-6)

Kulkarni, A., & Harish, A. (2015). *Digital Signal Processing: Theory and Practice*. Springer.

Kumar, P., & Chauhan, N. (2021). *Intelligent sensors and actuators: A review of recent advances and applications*. *Measurement*, 181, 109613. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109613

Kuphaldt, T. R. (2009). *Actuadores neumáticos. En Lessons In Industrial Instrumentation* (pp. 39-44). Creador de Publicaciones.

Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. (2017). *Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann.*

Li, L., Yang, H., & Xie, Y. (2021). *A survey on the development of optimization algorithms for transportation and logistics. Journal of Cleaner Production,*

Li, Y., Cheng, Y., Zhang, X., & Song, L. (2021). *Research on Communication and Control System of Monitoring and Management for Silo Storage. In 2021 6th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE 2021)* (pp. 1-5). Atlantis Press.

Lipták, B. G. (2019). *Instrument engineers' handbook, Volume 1: Process measurement and analysis. CRC Press.*

Lu, Y., Cai, Y., & Wang, W. (2015). *Design and implementation of a fuzzy-PID controller for an industrial-grade, embedded DC motor. IEEE Transactions on Industrial Electronics,* 62(1), 220-228.

Ma, J., Wang, Y., Yang, J., Xu, W., & Hu, X. (2019). *Design and development of a brick making machine with a capacity of 100,000 blocks/day. Construction and Building Materials,* 228, 116758.

Manzoor, U., Abbas, H., & Al-Fuqaha, A. (2018). *Industrial IoT for Industry 4.0: A survey. IEEE Access,* 6, 78238-78258.

Market Research Future. (2022). *Mini Computer Market Research Report-Global Forecast to 2023*. Recuperado el 22 de marzo de 2023, de <https://www.marketresearchfuture.com/reports/mini-computer-market-4000>

Mehta, P. K., & Siddique, R. (2017). *Sustainable construction and building materials: Select proceedings of ICSCBM 2018*. Springer.

Montoya, G. F., Bernal, C. F., & Muñoz, J. M. (2019). *Estudio comparativo de mampostería confinada con bloques de concreto y con bloques de tierra comprimida*. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(51), 23-35.

National Concrete Masonry Association. (2018). *TEK 18-01B Quality Assurance & Sampling Procedures for Concrete Masonry Units (CMUs)*. <https://ncma.org/resource/tek-18-01b-quality-assurance-sampling-procedures-for-concrete-masonry-units-cmus/>

National Institute of Standards and Technology. (2018). *Guide to the Selection and Use of Concrete Building Blocks (NISTIR 6896)*. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.6896>

National Instruments. (s.f.). *Controladores programables*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/06/controladores-programables.html>

Nielsen, J., & Molich, R. (1990). *Heuristic evaluation of user interfaces*. *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 249-256.

Oliveira, F. L. de, Oliveira, M. C. de, de Oliveira, J. L. N., & dos Santos, J. A. (2020). *Risk analysis of maintenance in the production of interlocking blocks*. *Research, Society and Development*, 9(8), e77898454.

Portland Cement Association (PCA). (2016). *Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders*. Recuperado de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=310029&Format=PDF>

Rafael C. González, R. E. (2009). *Digital image processing using Matlab*. En González, Woods, & Eddins.

Rafael, A. (2021). *Controladores de lógica cableada: características y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.prolamsa.com/blog/controladores-de-logica-cableada-caracteristicas-y-aplicaciones/>

Rajesh, R., & Anand, S. (2019). *A Review on Industrial Automation with Emerging Trends and Future Scope*. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 28(15), 1007-1021. <https://doi.org/10.14257/ijast.2019.28.15.92>

Rana, N. P., & Singh, R. (2018). *Development of a low-cost brick making machine for producing fly ash-sand-cement bricks*. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.5), 40-42.

Rao, S. S. (2011). *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons.

Rios, C. C., Ferreira, H. S., Tafarello, D., & Veit, H. M. (2018). *Development and testing of a hydraulic press for the production of interlocking paving blocks*. *Journal of Construction and Building*

Rockwell Automation. (s.f.). *Connected Components Workbench Software*. Obtenido de <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/connected-components-workbench.page>

Rodríguez, L. (2021). *Controladores lógicos programables (PLC): conceptos básicos*. Obtenido de <https://ingenieriaindustrialonline.com/controladores-logicos-programables-plc-conceptos-basicos/>

Roshan, M. J., Saneinejad, S., & Khademi, F. (2016). *Effect of ground-motion directionality on the seismic behavior of masonry buildings with different types of infill walls*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(1), 39-60.

Saadatmanesh, H., & Reinhardt, H. W. (1994). *Design and construction of concrete block buildings*. *National Concrete Masonry Association*.

Sánchez, L. y Rodríguez, E. (2019). *Sensores y transductores: instrumentación industrial básica*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/sensores-y-transductores-instrumentacion-industrial/sensores-y-transductores-instrumentacion-industrial.pdf>

Saqib, N., Ashraf, M. W., Qureshi, M. A., & Abro, R. (2021). *Cybersecurity issues and countermeasures in the design of safety and security systems*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69, 104295.

Schaumann, P. (2013). *The development of concrete block masonry in Europe*. In A. W. Page & R. J. M. Suttie (Eds.), *Masonry walls: specification and design* (pp. 11-30). Woodhead Publishing.

Schneider Electric. (s.f.). *SoMachine Basic*. Obtenido de <https://www.se.com/mx/es/product-range-presentation/2084827-somachine-basic/>

Sensorland. (s.f.). *Sensors and Transducers*. Obtenido de <https://www.sensorland.com/HowPage021.html>

Shneiderman, B. (1998). *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Siddique, R. (2017). *Properties of Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate for Sustainable Applications*. Woodhead Publishing. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/book/9780081007865/properties-of-concrete-incorporating-recycled-concrete-aggregate-for-sustainable-applications>

Siemens. (s.f.). *SIMATIC STEP 7 BASIC*. Obtenido de <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion-industrial/sistemas-de-automatizacion-industrial/programacion/simatic-step-7-basic.html>

Singh, N., Kumar, A., & Singh, S. K. (2019). *An investigation on the effect of block size, aspect ratio and mix proportion on compressive strength of hollow concrete block*. *Materials Today: Proceedings*, 17, 240-247.

Smith, J. (2019). *Controladores lógicos programables (PLC): características y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.elprocus.com/es/controladores-logicos-programables-plc-caracteristicas-y-aplicaciones/>

Techopedia. (2022). *Mini Computer*. Recuperado el 22 de marzo de 2023, de <https://www.techopedia.com/definition/1241/mini-computer>

Terry L.M. (2002). *Programmable controllers: theory and implementation*. Industrial Text and Video Company.

Torres, J. M. (2013). *El block de concreto en México*. *Estudios de Cultura Material*, 17, 61-81. [https://doi.org/10.1016/S0186-7210\(13\)71529-6](https://doi.org/10.1016/S0186-7210(13)71529-6)

Torres, N. (2020). *Controladores lógicos programables (PLC): características y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.ingeproconsulting.com/controladores-logicos-programables-plc-caracteristicas-y-aplicaciones/>

Tsakalis, K. S., Katsoulis, P. X., & Kokotovic, P. V. (2008). *Fuzzy logic control*. *Encyclopedia of Systems and Control*, 1-7.

UniPi.technology. (2016). *UniPi*. Obtenido de <https://www.unipi.technology/products/neuron-3>

Varga, A. (2011). *Model-based simulation and control design for engineering systems*. Springer Science & Business Media. <https://www.springer.com/gp/book/9780857299362>

Venayagamoorthy, G. K., Kumar, N., Chaudhari, J. D., & Mewada, P. (2019). *Interoperability challenges and opportunities in smart grid and cyber physical systems*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 107, 334-343.

Wainer, G. A., & Langenbach, R. (2016). *Concrete block making machine*. *US Patent 9,388,101*.

Wang, H., Li, Y., Xue, J., & Li, Y. (2019). *Design of fuzzy logic controller based on particle swarm optimization for direct torque control of induction motor*. *IEEE Access*, 7, 150-161.

Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Pearson.

Yilmaz, E., & Marar, K. (2015). *An investigation of using aerated lightweight concrete block for building construction*. *Procedia Engineering*, 121, 939-944.

Zahedi, A., Naderpour, H., & Naghipour, M. (2019). *Predicting the compressive strength of concrete paving blocks using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and particle swarm optimization (PSO) algorithm*. *Construction and Building Materials*, 198, 79-95.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones de la Raspberry Pi 2



Raspberry Pi 2, Model B

Product Name Raspberry Pi 2, Model B

Product Description The Raspberry Pi 2 delivers 6 times the processing capacity of previous models. This second generation Raspberry Pi has an upgraded Broadcom BCM2836 processor, which is a powerful ARM Cortex-A7 based quad-core processor that runs at 900MHz. The board also features an increase in memory capacity to 1Gbyte.

Specifications

Chip	Broadcom BCM2836 SoC
Core architecture	Quad-core ARM Cortex-A7
CPU	900 MHz
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 2A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4)
Audio Output	3.5mm jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
JTAG	Not populated
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Micro SDIO

Anexo 2. Especificaciones de LOGO! 24 CE

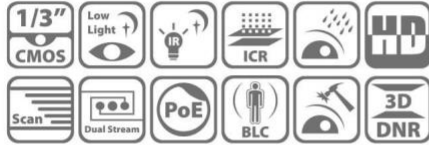
LOGO! 8 Basic				
	LOGO! 24CE	LOGO! 12/24RCE	LOGO! 24RCE	LOGO! 230RCE
Inputs	8	8	8	8
of which can be used in analog mode	4 (0 to 10 V)	4 (0 to 10 V)	–	–
Input/supply voltage	24 V DC	12...24 V DC	24 V AC/DC	115...230 V AC/DC
Permissible range	20.4...28.8 V DC	10.8 V...28.8 V DC	20.4 V AC to 26.4 V AC 20.4 V DC to 28.8 V DC	85 V AC to 265 V AC 100 V DC to 253 V DC
Outputs	4; transistors	4; relays	4; relays	4; relays
Continuous current	0.3 A	10 A with resistive load; 3 A with inductive load	10 A with resistive load; 3 A with inductive load	10 A with resistive load; 3 A with inductive load
Short-circuit protection	Electronic (approx. 1 A)	External fuse required	External fuse required	External fuse required
Switching frequency	10 Hz	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load
Cycle time	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function
Display	Yes	Yes	Yes	Yes
Integrated time switches/power reserve	Yes / typ. 20 days	Yes / typ. 20 days	Yes / typ. 20 days	Yes / typ. 20 days
Connection cables	2 x 1.5 mm ² or 1 x 2.5 mm ²	2 x 1.5 mm ² or 1 x 2.5 mm ²	2 x 1.5 mm ² or 1 x 2.5 mm ²	2 x 1.5 mm ² or 1 x 2.5 mm ²
Ambient temperature	0 to + 55 °C	0 to + 55 °C	0 to + 55 °C	0 to + 55 °C
Storage temperature	– 40 °C to + 70 °C	– 40 °C to + 70 °C	– 40 °C to + 70 °C	– 40 °C to + 70 °C
Emitted interference	In accordance with EN 55011 (limit class B)	In accordance with EN 55011 (limit class B)	In accordance with EN 55011 (limit class B)	In accordance with EN 55011 (limit class B)
Degree of protection	IP20	IP20	IP20	IP20
Certification	CSA, UL, FM, IEC 61131, VDE 0631, marine approvals	CSA, UL, FM, IEC 61131, VDE 0631, marine approvals	CSA, UL, FM, IEC 61131, VDE 0631, marine approvals	CSA, UL, FM, IEC 61131, VDE 0631, marine approvals
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide, or wall mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide, or wall mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide, or wall mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide, or wall mounting
Dimensions (W x H x D)	71.5 (4 MW) x 90 x 60 mm	71.5 (4 MW) x 90 x 60 mm	71.5 (4 MW) x 90 x 60 mm	71.5 (4 MW) x 90 x 60 mm
Programming cable	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet

Anexo 3. Especificaciones de Cámara de red

DS-2CD2122F-I(S)(W) (2.0MP)

DS-2CD2132F-I(S)(W) (3.0MP)

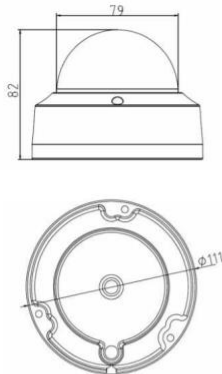
IR Fixed Dome Network Camera



Key features

- 2MP / 3MP high resolution
- HD real-time video
- 3D DNR & DWDR & BLC
- IR LEDs: up to 30m
- IP66
- Vandal-proof
- PoE
- Onboard storage (up to 64GB)
- Wi-Fi optional

Dimensions



Available models

2.0MP:

DS-2CD2122F-I, DS-2CD2122F-IS,
DS-2CD2122F-IW, DS-2CD2122F-IWS

3.0MP:

DS-2CD2132F-I, DS-2CD2132F-IS,
DS-2CD2132F-IW, DS-2CD2132F-IWS

* 1.3MP model is also available -- DS-2CD2112F-I

* -S: Audio I/O interface, Alarm I/O interface.

-W: Built-in Wi-Fi

	DS-2CD2122F-I(S)(W)	DS-2CD2132F-I(S)(W)
Camera		
Image sensor	1/3" Progressive Scan CMOS	
Min. illumination	0.01 lux@F1.2, AGC ON, 0 lux with IR	0.07Lux @F1.2, AGC ON, 0 lux with IR
Shutter time	1/3s ~ 1/100,100s	
Lens	4mm @ F2.0 (2.8mm, 6mm optional) Angle of view: 98.5°(2.8mm), 79°(4mm), 49°(6mm)	4mm @ F2.0 (2.8mm, 6mm, 12mm optional) 2048 x 1536: Angle of view: 86°(2.8mm), 70°(4mm), 43.3°(6mm), 20.6° (12mm) 1920 x 1080: Angle of view: 98.5°(2.8mm), 79°(4mm), 49°(6mm), 23.2° (12mm)
Lens mount	M12	
Angle adjustment	Pan: 0° ~ 355°, Tilt: 0° ~ 65°, Rotation: 0 ~ 360°	
Digital noise reduction	3D DNR	
Wide dynamic range	Digital WDR	
Day & night	IR cut filter with auto switch	
Compression Standard		
Video compression	H.264 / MJPEG	
H.264 codec profile	Main profile	
Bit rate	32 Kbps ~ 16 Mbps	
Dual stream	Yes	
Image		
Max. Image Resolution	1920 x 1080	2048 x 1536
Frame rate	50Hz: 25fps (1920 x 1080), 25fps (1280 x 720) 60Hz: 30fps (1920 x 1080), 30fps (1280 x 720)	50Hz: 20fps (2048 x 1536), 25fps (1920 x 1080), 25fps (1280 x 720) 60Hz: 20fps (2048 x 1536), 30fps (1920 x 1080), 30fps (1280 x 720)
Image settings	Saturation, brightness, sharpness, contrast, sharpness adjustable through client software or web browser	
BLC	Yes, zone configurable	
ROI	Yes, up to 3 configurable areas	
Network		
Network storage	Local storage: Built-in Micro SD/SDHC/SDXC card slot, up to 64 GB; NAS	
Alarm trigger	Face detection, line crossing detection, intrusion detection, scene change detection, Motion detection, Dynamic Analysis, Tampering alarm, Network disconnect, IP address conflict, Storage full, Storage error	
Protocols	TCP/IP, ICMP, HTTP, HTTPS, FTP, DHCP, DNS, DDNS, RTP, RTSP, RTCP, PPPoE, NTP, UPnP, SMTP, SNMP, IGMP, 802.1X, QoS, IPv6, Bonjour	
System compatibility	ONVIF, PSIA, CGI, ISAPI	
General functionalities	User Authentication, Watermark	
General function	Flickerless, dual stream, heartbeat, mirror, password protection, watermark	
Interface	1 RJ45 10M/100M Ethernet interface	
Wi-Fi Specification (Only for -W model)		
Wireless Standards	IEEE802.11b, 802.11g, 802.11n	
Frequency Range	2.4 GHz ~ 2.4835 GHz	
Channel Bandwidth	20/40MHz Support	
Protocols	802.11b: CCK, QPSK, BPSK; 802.11g/n: OFDM	
Security	64/128-bit WEP; WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK, WPS	
Transmit Output Power	11b: 17±1.5dBm @ 11Mbps; 11g: 14±1.5dBm @ 54Mbps; 11n: 12.5±1.5dBm	
Receive Sensitivity	11b: -90dBm @ 11Mbps (Typical); 11g: -75dBm @ 54Mbps (Typical); 11n: -74dBm (Typical)	
Transfer Rates	11b: 11Mbps; 11g: 54Mbps; 11n: up to 150Mbps	
Wireless Range	Outdoor: 200m, Indoor: 50m; *The performance varies based on actual environment.	
General		
Operating conditions	-30 °C ~ 60 °C (-22 °F ~ 140 °F); Humidity 95% or less (non-condensing)	
Power supply	12 V DC ± 10%; PoE (802.3af)	
Power consumption	Max. 5 W (Max. 7 W with IR cut filter on)	
Impact protection	IK10	
Ingress protection	IP66	
IR range	30 meters	
Dimensions	Φ111 x 82 (4.4" x 3.2")	
Weight	500g (1.1 lbs)	

Anexo 4. Especificaciones de UniPi Neuron S10x

UniPi Neuron S10x



Series	Digital inputs	Digital outputs	Relay outputs	Analog inputs	Analog outputs	Communication
S10x	4	4	0	1	1	1× RS485 1× Ethernet 10/100 1× 1Wire bus

Model	CPU	RAM	Others
S101	700 MHz	512 MB	
S102	4× 900 MHz	1 GB	
S103	4× 1.2 GHz	1 GB	Wifi + Bluetooth



Basic properties

- Power supply 24 V DC
- RTC with backup up to 7 days
- Linux operating system
- 1× 10/100 Ethernet
- 4× USB for connecting other devices Wifi, 3G(LTE),...
- 1× RS485 galvanically isolated serial interface for connection of expansion and communication modules
- Direct Switch function
 - Rapid input response within the group – tens of μ s
 - Available features: identity, negation, toggle
- Watchdog for monitoring running of the control system
- Save and restore settings and fail-safe state of outputs to NVRAM and reload at startup
- Hardware restart function of 1Wire bus
- Possibility to choose multiple programming platforms
 - Mervis
 - REX
 - CODESYS
 - OpenSource
 - TCP ModBus and other interfaces are available for your OWN applications
- 4× user-configurable LEDs
- ready for wireless technologies - Zigbee, Lora, Sigfox, IQRf, GSM, LTE, ...
- Built-in Web server for display of user applications
- Compact size and easy installation on DIN rail

UniPi Neuron S10x

Communication

Ethernet	1× 10/100BaseT
Serial channels	1× RS485, 1× 1-Wire
Transmission speed RS485	9.6 .. 115 kbps
Galvanic isolation RS485	Yes
Galvanic isolation 1-Wire	Yes

Digital inputs

Number of inputs × groups	4 × 1
Common connector	DIGND
Galvanic isolation	Yes
Functions of inputs	Signalization, counter, Direct Switch
Operation range	5 – 24 V DC
Input voltage of log. 0	Max. 3,5 V DC
Input voltage of log. 1	Min. 4,5 V DC
Input resistance of log. 1	6 200Ω
Delay 0→1/1→0	20 μs / 60 μs

Digital outputs

Number of outputs × groups	4 × 1
Common connector	DOGND
Galvanic isolation	No
Type of output	Tranzistorový
Additional functions	PWM, frekvence
Switchable voltage	5 – 50 V DC
Switchable current continual/pulse	750 mA / 1 A
Max. total current DO1.1–1.4	1A
Time to switch on/off	Typ. 130 ns / 20ns
Switching speed	Max. 200 kHz/8bit

Dimensions and weight

Dimensions	72 × 90 × 59 mm
Weight	300 g

Analog inputs

Number of inputs × groups	1 × 1
Common connector	AGND
Available functions	0 – 10 V 0 – 20 mA
Galvanic isolation	No
Resolution	12 bits
Conversion speed	10μs

Analog outputs

Number of outputs × groups	1
Common connector	AGND
Available functions	AO 0 – 10V / 0 – 20mA Resistance measure: 0 – 2 kΩ, Ni1000, Pt1000
Galvanic isolation	No
Resolution	12 bits
Range/current	10V/20mA
Conversion speed	1ms

Power supply

Rated voltage - SELV	24 V DC
Voltage tolerance	–15% .. +25% 20,4 .. 30 V DC,
Power consumption	Typ. 3W Max. 12W
Internal protection	Yes

Installation and operating conditions

Operating temperature	0 °C .. +55 °C
Storing temperature	–25 °C .. +70 °C
Dielectrical strength	In accordance with EN 60950
Degree of protection IP (IEC 529)	IP20
Operation position	Horizontal
Installation	On 35mm DIN rail into distribution box
Connection	Pluggable terminal blocks
Wire gauge	Max. 2,5 mm ²

Standards compliance

ČSN EN 6095-1 ed. 2
ČSN EN 61000-6-3 ed. 2
ČSN EN 55014-1 ed. 3
ČSN EN 55022 ed. 3
2006/95/EC
2004/108/ES
2014/35/EU
2014/30/EC