



Review de vehículo autónomamente guiado (AGV)

Autonomously Guided Vehicle (AGV) Review

Revisão do Veículo Autoguiado (AGV)

John Germán Vera-Luzuriaga^I
john.vera@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6621-5368>

Keyron Antony Loor-Vergara^{II}
keyron.loor@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8424-6811>

Adriana Maribel Bautista-Guanin^{III}
adriana.bautista@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7561-3974>

Danilo Alexander Galarza-Toalombo^{IV}
danilo.galarza@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8935-0204>

Correspondencia: john.vera@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

* **Recibido:** 25 de abril de 2022 * **Aceptado:** 20 de mayo de 2022 * **Publicado:** 29 de Junio de 2022

- I. Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales, Docente, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador
- II. Estudiante, Carrera de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador
- III. Estudiante, Carrera de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador
- IV. Estudiante, Carrera de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador

Resumen

Los AGVs tienen el propósito de mejorar el rendimiento de los procesos relacionados con el transporte y la distribución de materiales dentro y fuera de las industrias de producción; cabe recalcar que poseen un sistema inteligente para seguir órdenes y aprende a navegar de forma natural sin un sistema de guía. Una de sus principales características es la flexibilidad que presentan, es decir, si se presentan dificultades en su entorno de trabajo, estos buscan rutas alternativas por lo que se puede cambiar su tamaño, características e incluso sus propiedades según las necesidades. Así como un vehículo automáticamente guiado o llamado también robots colaborativos, ayudan al transporte y distribución de materiales, también pueden llegar a suministrar el material en líneas de ensamble, participar en carga y descarga de materiales, apoyan la gestión de trazabilidad del producto, esta manera se reduce los accidentes laborales. La revisión bibliográfica desarrollada a continuación está basada en la búsqueda de artículos relacionados con AGV's.

Palabras clave: AGV; Robot; Transporte; Tecnología; Autónomo; Navegación.

Abstract

AGVs are intended to improve the performance of processes related to the transportation and distribution of materials within and outside production industries; It should be noted that they have an intelligent system to follow orders and learn to navigate naturally without a guidance system. One of their main characteristics is the flexibility they present, that is, if difficulties arise in their work environment, they look for alternative routes so that their size, characteristics and even their properties can be changed according to needs. As well as an automatically guided vehicle or also called collaborative robots, they help transport and distribute materials, they can also supply the material in assembly lines, participate in loading and unloading of materials, support product traceability management, in this way occupational accidents are reduced. The bibliographic review developed below is based on the search for articles related to AGV's.

Keywords: AGV; Robot; Transportation; Technology; Autonomous; Navigation.

Resumo

Os AGVs visam melhorar o desempenho dos processos relacionados ao transporte e distribuição de materiais dentro e fora das indústrias de produção; Deve-se notar que eles têm um sistema inteligente para seguir ordens e aprender a navegar naturalmente sem um sistema de orientação.

Uma de suas principais características é a flexibilidade que apresentam, ou seja, caso surjam dificuldades em seu ambiente de trabalho, buscam rotas alternativas para que seu porte, características e até mesmo suas propriedades possam ser alteradas conforme as necessidades. Além de um veículo guiado automaticamente ou também chamados de robôs colaborativos, eles auxiliam no transporte e distribuição de materiais, também podem fornecer o material em linhas de montagem, participar do carregamento e descarregamento de materiais, apoiar a gestão da rastreabilidade do produto, desta forma os acidentes de trabalho são reduzidos. A revisão bibliográfica desenvolvida a seguir é baseada na busca de artigos relacionados aos AGV's.

Palavras-chave: AGV; Robô; Transporte; Tecnologia; Autônomo; Navegação.

Introducción

El presente artículo topará diferentes temas sobre los AGVs, tales como: qué es un AGV, el sistema de navegación que usa, sus componentes, ventajas y desventajas, aplicaciones en la industria, entre otros. Los sistemas electrónicos de control AGV (Automated Guided Vehicle) son mayormente usados en muchas aplicaciones de transporte en la industria; el mayor consumidor de vehículos AGV's es la industria automotriz, sin embargo los vehículos AGV's también son comunes en otras industrias, incluyendo almacenes, almacenes automáticos, cargas y centros de distribución, papel, impresión, textiles y siderúrgicas, donde se puede identificar un mejoramiento en los tiempos de transporte de material, así como también en el índice de accidentes producidos por este tipo de vehículos.

En el transcurso del tiempo se ha descubierto que el uso de los AGV aumenta la flexibilidad de enrutamiento, mejorando la utilización del espacio, garantizan la seguridad y reducen el costo operacional general. Los modernos sistemas de control de vehículos AGV difieren de los sistemas convencionales, como se describirá en cada una de sus aplicaciones. En lugar de utilizar rutas fijas, muchos AGV modernos tienen rango libre, lo que significa que sus rutas prioritarias están programadas por software y se pueden cambiar con relativa facilidad a medida que se agregan nuevas estaciones o flujos. Además, otra diferencia que se puede encontrar es cómo se pueden controlar.

La tecnología implementada en los sistemas de control permite que estos vehículos inteligentes tomen decisiones binarias (sí o no). Estos desarrollos no significan que los controladores de decisiones tradicionales se hayan vuelto obsoletos. Por el contrario, conducen a nuevos desafíos para la investigación. Ambos tipos de sistemas de control de decisiones AGVS tienden a afectar el uso de vehículos AGV.

Breve Historia

La historia de los Automatic Guided Vehicle (AGV) es decir, vehículos guiados automáticos, comenzó en 1953. Donde a Mac Barret, de la Barret Electronics Corporation de Northbrook, Illinois, U.S.A, se le ocurrió la idea de un carro remolque guiado por un cable magnético, para una empresa de alimentos, este carro se conducía con un hombre a bordo y mediante unos sensores debajo del vehículo[1].

Este invento se usó en fábricas durante años, aproximadamente hasta los años setenta. Gracias a la revolución electrónica permitió que estos vehículos auto pilotados sigan trayectorias sin la necesidad de que una persona este a bordo [2]. Seguidamente llegaron controles de estado sólido, lo que les permitió a los sistemas la capacidad de expandirse y ser más flexibles. Además, los relés de estado sólido incrementaron notablemente el número de aplicaciones en la industria.

Progresivamente, se ha ido incorporando al mundo industrial a la vez que crecían en aplicaciones y sofisticación. Se ha empleado ampliamente para simplificar la intralogística y los procesos de manipulación de materiales en entornos industriales e incluso en el sector de servicios como guía u otras aplicaciones, ya que, proporciona una gran flexibilidad, aumenta la eficiencia y evita la exposición del personal a tareas peligrosas [1].

Hoy en día la tecnología ha evolucionado, aun cuando el alambre en el piso sigue utilizándose, en una aplicación correcta y apropiada, es una cantidad mínima, ya que, ahora existen diseños que funcionan sin el alambre. Las tecnologías avanzadas trajeron consigo el uso de tubos de vacío, guía de señales de radio, microprocesadores, microcomputadoras, transistores, infrarrojos, y controladores lógicos programables (PLC) [2].

Estas tecnologías permitieron a los vehículos contar con sofisticados equipos a bordo para comunicar, dirigir y administrar el sistema. También se han creado sistemas con posibilidad de acople y desacople automático de carga. Actualmente, los AGV tienen grandes aplicaciones en la industria automovilística, de papel y metales, plástica, y en general en cualquier sistema de transporte y almacenamiento [3].

Metodología del vehículo autónomamente guiado (AGV)

Los vehículos de guiado automático (AGV) son máquinas de transporte de almacén similares a las carretillas, que se desplazan de forma autónoma a lo largo de trayectorias preestablecidas o programadas [2]. Se asocia al concepto de sistema de fabricación flexible y reconfigurable, al que contribuyen transportando cargas automáticamente y sustituyendo las tradicionales líneas de producción [4].

Un vehículo de guiado automático es un sistema de transporte industrial completamente automatizado y alimentado por baterías. Se mueven automáticamente, sin necesitar de un operador ni de estructuras fijas en el suelo; además, para poder responder fácilmente al futuro desarrollo del establecimiento, son muy flexibles, es así como los vehículos pueden dialogar con otros sistemas de automatización para que el producto se mueva en el almacén con fluidez.

Existen máquinas con elevación y diferentes tipos de horquilla para la manipulación de pallets o bultos. Hay modelos y tipos de vehículos diferentes según el sector y el medio a emplear: de horquillas, de rodillos y con plataforma; para mover medios pesados, cajas con rodillos, plataformas de almacenaje y paletas al final de la línea; de acero inoxidable para trabajar en el sector alimentario [5]. Estas requieren de una instalación la cual se diseña en todos sus detalles mediante un sistema de simulación que permite comprobar los trayectos, el número de operaciones posibles y la cantidad de vehículos necesarios.

La aplicación más relevante de AGV en el entorno industrial es la relacionada con el almacenamiento y la logística. Está especialmente indicado para realizar tareas repetitivas en todo tipo de industrias, pero especialmente en las áreas de producción. tiene un extenso uso en la industria, entre otros se encuentran: Aeroespacial, Automotriz, Alimentos, Farmacéutica, Textil, etc [4].

A. Tipos de AGV

Omnidireccionales: Tienen la ventaja de tener una mayor maniobrabilidad, por lo que pueden adaptarse mejor a la presencia de obstáculos en el entorno. La desventaja es que normalmente las ruedas omnidireccionales o los sistemas motrices multidireccionales son más complejos y costosos.

No omnidireccionales: Normalmente tienen un coste más reducido. Las limitaciones de movilidad imponen estrategias de control más avanzadas [3].

Estos sistemas de seguridad complementan otros sistemas de control de trazabilidad que monitorean sus movimientos para saber dónde se encuentra ubicado vehículo y el recorrido que ha

tomado en el entorno industrial en el que opera. Dado que los escáneres y dispositivos de seguridad determinan la distancia con otros objetos a través del láser, se puede establecer una coordinación funcional con el gestor de flotas y de rutas para conseguir movimientos eficientes y seguros [4].

B. Diseño de un sistema AGV

Diseñar un sistema AGV es complejo porque hay muchas variables a considerar que afectan el rendimiento y son difíciles de predecir. Las decisiones que se toman están ligadas a otras variables, y estas decisiones tendrán un impacto significativo en el diseño. Los principales aspectos por considerar en el diseño son [1]:

- Las trayectorias.
- Manejo del tráfico de los AGV.
- El número de estaciones de carga y descarga de materiales.
- Los requerimientos de los vehículos.
- Enrutamiento de los vehículos.
- Planificación de uso de los vehículos.
- Posiciones ideales para los vehículos.
- Manejo de baterías.
- Manejo de fallas.

Sistemas De Navegación Para Agv

C. Sistemas de navegación para AGV.

Una de las razones de ser de los AGV, más importantes ha sido el desarrollo de sistemas de navegación capaces de guiar de forma autónoma estos vehículos.

Un robot o vehículo puede considerarse autónomo, cuando es capaz de dirigirse de un punto A un punto B, sin intervención humana, por lo que se ha desarrollado el sistema de navegación integrado, el cual le permite desplazarse por el entorno siguiendo una trayectoria y evitando los obstáculos que se presenten durante su recorrido. Se comprende que existen dos grupos de sistemas para un AGV tales como:[5]

1. Sistemas de navegación de los AGVs según su Trayectoria

1.1.Sistemas de navegación fijos. - En este tipo de navegación, la trayectoria está establecida de anteriormente y el AGV se encarga de recorrerla, sin salirse de ella, por lo general son guiados por una cinta magnética.

1.2.Sistemas de navegación libres. - Sistema en el cual el propio AGV decide en tiempo real su trayectoria.

2. Sistemas de navegación de los AGVs según su posicionamiento

Esta clasificación se da por la forma en que el AGV calcula su posición actual, algo necesario para saber dónde está y cuánto se ha desplazado por la trayectoria, estos pueden ser:

2.1.Sistemas de navegación Absolutos: el vehículo sabe en todo momento la posición en el entorno que ocupa, como los sistemas láser.

2.2.Sistemas de navegación Relativos: el vehículo no sabe en todo momento su ubicación en el entorno, calcula su posición actual a partir de una posición anterior, como por ejemplo los sistemas odométricos.[6]

D. Utilización de los principales sistemas de navegación que se utilizan en los AGV.

Cinta Magnética

Tiene un tipo de sistema de navegación fijo, relativo, donde el AGV dispone de un lector magnético integrado en la parte inferior delantera, éste detecta mínimas fluctuaciones del campo magnético creado por una cinta embutida o colocada sobre el suelo. Este dispositivo y otros sensores se conectan a una unidad de control, capaz de guiar con precisión al vehículo y realizar movimientos realmente complejos. Esta cinta magnética se complementa con tarjetas RFID, colocadas al lado de ella y que el AGV lee al mismo tiempo, con el fin de que el vehículo ejecuta paradas, cambios de trayectoria o consultas al servidor central para recibir órdenes, lo que permite establecer áreas de cruce, tomar caminos diferentes dependiendo del estado del circuito o la carga de las estaciones.

Este es un sistema de navegación muy fiable, preciso y duradero, ya que la cinta se protege mediante resina epoxi en superficie o se embute en un canal en el suelo, evitando su degradación por el paso de vehículos, siendo así los AGV más económicos ya que no necesitan costosos sensores o sistemas de reconocimiento de entorno. Por otra parte, el paso de los AGV no se sale de su trayectoria y son capaces de transportar o arrastrar cargas elevadas. Por otra parte, se pueden encontrar problemas como donde el AGV debe permanecer siempre sobre la cinta, si se colocara fuera de ella, se pararía al no saber qué camino seguir, por ende, los obstáculos que se sitúan en el circuito de cinta magnética bloquean al vehículo hasta que se retiran. Así también los giros y maniobras necesitan de cierto espacio, aunque los vehículos son capaces de hacer movimientos complejos.

Visión Óptica

Cuenta con un tipo de sistema de navegación fijo, relativo; los sistemas de navegación para AGVs basados en visión óptica usan cámaras o sensores para adquirir características del entorno y tomar decisiones. Este tipo de sistema son aplicados como por ejemplo en los AGVs con reconocimiento de códigos QR, éstos se disponen en el suelo, en puntos de referencia fijados de antemano con gran precisión, de forma que una vez que el AGV lee uno de ellos, sabe dónde está y cuánto debe desplazarse.[7]

También son aplicados en AGVs con guiado óptico a en el suelo, de forma muy parecida al sistema de cinta magnética, pero esta vez consiste en una franja pintada de un color que contrasta con el resto del firme.

Láser

Posee un tipo de sistema de navegación libre, absoluto. Los AGV con sistema de navegación láser, también llamados LGV (Laser Guided Vehicle), son vehículos que utilizan un dispositivo, en forma de torreta giratoria, que emite miles de haces de luz por segundo.

Éstos rebotan en pequeños reflectores situados en paredes o postes y sus reflejos son capturados por un receptor del sistema. Se calcula el tiempo que ha tardado el rayo en ir y venir, lo que permite conocer la distancia al reflector. Es un sistema muy fiable y de gran precisión, que dota a los equipos de gran flexibilidad, pues los cambios de trayectorias se realizan mediante programación en el software de gestión, sin necesidad de modificar el entorno de trabajo.

SLAM

Tiene un sistema de navegación de tipo libre, absoluto. Proviene de las siglas inglesas Simultaneous Localization And Mapping, mapeo y localización simultáneos. Se trata de una técnica de navegación libre también llamada natural, pues permite a un AGV construir un mapa del entorno y al mismo tiempo navegar por él, gracias a la información que captan sus sensores en tiempo real. En este sistema también puede utilizarse un láser para la detección del entorno, la principal diferencia con los vehículos LGV a secas, es que en SLAM no es necesario instalar reflectores ni realizar un mapeado inicial de los mismos.

En las investigaciones actuales se están desarrollando sistema de navegación para vehículos móviles que puede controlar varios vehículos en un entorno compartido. Para lograr un uso práctico, el sistema de posicionamiento debe tener una alta precisión y un bajo costo. Por lo tanto, se propone un sistema de navegación para vehículos que realizan la navegación del vehículo

utilizando un mapa de ubicación de alta precisión utilizando una cámara montada en el techo con un filtro infrarrojo y un marcador LED. La principal son dos temas. Un problema es la integración del sistema que incluye un sistema de identificación de alta precisión para el marcador LED y un controlador AGV de bajo costo. Otro problema es el nuevo sistema de navegación AGV con alta precisión en condiciones de congestión. Para ser utilizados en la práctica, los vehículos de maniobra deben continuar su misión de manera segura y con gran precisión en condiciones de bloqueo temporal. [8]

El sistema de navegación básico para la mayoría de estos vehículos es el odómetro. El proceso de navegación utiliza la medición de olores asumiendo parámetros constantes como el radio de rodadura y la silla de ruedas. Las marcas de deslizamiento tampoco se incluyen en este proceso. En condiciones reales, al trabajar con diferentes cargas y en diferentes superficies, estos parámetros cambian de valor y se produce un deslizamiento. [9]

Modelo matemático de la navegación y configuración de un AGV

Para la correcta ejecución de los sistemas del AGV y de las etapas de diseño, es necesario llevar a cabo un modelo matemático que incluye el desarrollo de la cinemática y dinámica del robot y centra su trabajo en la selección del algoritmo de control adecuado [10]. En un sistema AGV las ecuaciones matemáticas sirven para describir la operación del sistema, tiempos de ciclo, disponibilidad de los AGV, eficiencia, tasas de entrega de productos y cargas de trabajo; estos factores se transforman en diferentes variables que se pueden medir mediante ecuaciones matemáticas.

En un vehículo guiado automáticamente (AGV) se puede llevar a cabo diferentes cálculos matemáticos para su correcta implementación. Por ejemplo, para aplicación de carga y descarga por un AGV, se realizan cálculos tomando datos de las distancias que el AGV va a recorrer durante su operación, también se toman los tiempos de carga y descarga de las piezas teniendo como base de referencia en este caso un brazo robótico armado con la herramienta lego mindstorms. Las ecuaciones que se desarrollan para el modelo matemático de carga y descarga son para determinar el tiempo para un ciclo de entrega, tasa de entregas por AGV, tasa por hora de entrega por el vehículo, total de cargas de trabajo requerido y el número de AGV's requeridos [11].

1. Tiempo para un ciclo de entrega

$$T_C = T_L + \frac{L_d}{V_C} + T_U + \frac{L_e}{V_e} \quad (1)$$

Donde:

- T_C = Tiempo de ciclo de entrega (min/entrega)
- T_L = Tiempo de carga en la estación de carga (min)
- T_U = Tiempo de descarga en la estación de descarga (min)
- L_d = Distancia que el vehículo viaja entre la estación de carga y descarga (m,pies)
- L_e = Distancia que el vehículo viaja vacío hasta que empieza el siguiente ciclo de entrega (m,pies)
- V_e = Velocidad cuando el vehículo viaja vacío (m/min, pies/min)
- V_C = Velocidad (m/min, pies/min)

2. Tasa de entrega por AGV

Para la ecuación se considera la disponibilidad del AGV, la congestión de tráfico y la eficiencia de conductores manuales.

$$AT = 60 * A * Tf * E \quad (2)$$

Donde:

- A: Es la porción del tiempo que el vehículo no está en reparación y puede ser utilizado.
- Tf: Son las pérdidas de tiempo que el vehículo tiene cuando está en funcionamiento.
- E: Tasa del operador comparada con los estándares.

3. Tasa por hora de entrega por vehículo

$$R_{dv} = \frac{AT}{T_C} \quad (3)$$

4. Total de cargas de trabajo requerido

$$W.L. = R_f * T_C \quad (4)$$

Donde:

- R_f = Tasa total de entregas por hora requeridas
- T_c = Tiempo de ciclo de entrega

- $R_f = 12$

5. Número de vehículos requeridos

$$n_c = \frac{WL}{AT} \quad (5)$$

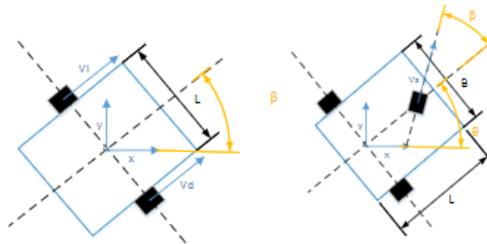
$$n_c = \frac{R_f}{R_{dv}} \quad (6)$$

El desarrollo de los modelos cinemáticos y dinámicos parten de un modelo matemático, permitiendo observar las interacciones entre cada uno de los sistemas y el desarrollo satisfactorio de los mismos [12].

Modelo cinemático de la parte diferencial del vehículo

Este sistema es comparable a un robot con dos ruedas paralelas con la capacidad de agarrarse a la carretera (Figura 1, izquierda). El cambio de dirección se logra por la diferencia en la velocidad de rotación de cada rueda. El ángulo β es el ángulo que forma el eje longitudinal del AGV diferencial con respecto a un marco de referencia inercial fuera del AGV (en azul en la Figura 1), suponiendo que no tiene rueda giratoria. En la figura 1, los bloques negros representan las ruedas del AGV y el cuadrado azul es la carrocería. Fig. 7.

Figura. 1. Esquema de robot diferencial (izquierda) y triciclo (derecha)



Fuente: Modelado de un AGV híbrido triciclo-diferencial

El modelo del sistema diferencial obedece a las siguientes ecuaciones:

$$v = \frac{1}{2} * (v_D + v_1) \quad (7)$$

$$w = \frac{1}{L} * (v_D - v_1) \quad (8)$$

$$R_{curva} = \frac{L}{2} * \frac{(v_D + v_1)}{(v_D - v_1)} \quad (9)$$

$$v = w * R_{curva} \quad (10)$$

$$w = \beta \quad (11)$$

Modelo cinemático de la parte triciclo del vehículo

La tracción puede ser delantera o trasera, aunque generalmente se emplea tracción delantera por medio de un motor rueda. La Figura 7 (derecha) representa un AGV triciclo con tracción delantera donde β es el ángulo de la rueda motriz con respecto al sistema de referencia embarcado en el AGV, suponiendo que no existe deslizamiento de las ruedas. [10]

$$\dot{x} = v * \cos(\theta) \quad (12)$$

$$\dot{y} = v * \sin(\theta) \quad (13)$$

$$\dot{\theta} = \omega \quad (14)$$

$$v = v_s * \cos(\beta) \quad (15)$$

$$\omega = \frac{v_s}{L} * \sin(\beta) \quad (16)$$

$$R_{curva} = L * \tan(\beta) \quad (17)$$

Estructura de accionamiento AGV y modelado de movimiento

Dado que los AGV deben adaptarse a diferentes situaciones y necesidades de trabajo, se han desarrollado diferentes tipos de AGV y hay muchas formas de dividir los AGV, incluidos los modos de transporte, la conducción y los métodos de guía y método de transferencia. Según el método de transmisión, incluido el tipo de volante simple, el tipo de volante doble, el tipo diferencial y el tipo de transmisión mixta. Para el mecanismo de tracción de una sola rueda, la rueda delantera puede controlar la velocidad y la dirección, las dos ruedas libres traseras juegan un papel de apoyo.

Para el mecanismo de doble volante, se distribuyen dos volantes en la parte delantera y trasera, el eje central está alineado y los dos volantes se pueden mover y girar libremente hacia cualquier lado.

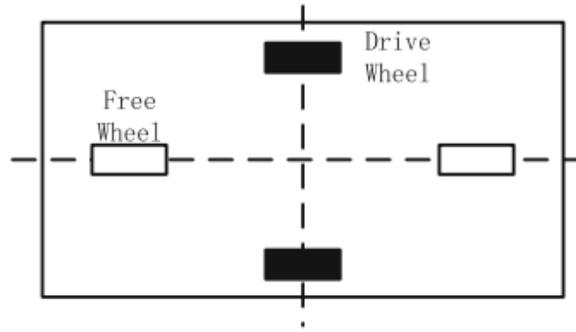
Para el mecanismo de tipo diferencial, los dos timones en a cada lado de la parte central controlan la velocidad en la dirección diferencial respectivamente, las dos ruedas libres se distribuyen en las secciones delantera y trasera para compartir la carga.

Dos ruedas motrices de AGV diferencial controlan la velocidad para dirigir diferencialmente a ambos lados del medio. Las dos ruedas libres delanteras y traseras comparten la carga. Las dos ruedas motrices izquierda y derecha se accionan controlando las velocidades de rotación de los dos motores para realizar el cambio de posición y dirección de la carrocería del vehículo. Es relativo al volante único. [13]

Para lograr el control de navegación del AGV, primero debemos obtener el modelo de movimiento del AGV. Existen muchas incertidumbres en las condiciones de trabajo de los AGV. Para simplificar el modelo, el se hacen las siguientes suposiciones condicionales:

1. La superficie de la carretera operada por AGV es una superficie horizontal ideal, ignorando las fluctuaciones de la superficie de la carretera.
2. El AGV simplemente rueda sobre la superficie de la carretera sin un deslizamiento relativo, es decir, ignora los baches y las condiciones de deslizamiento.
3. El análisis aquí es el proceso de movimiento de AGV en un tiempo muy corto, por lo que puede considerarse como una línea recta o un movimiento circular. Fig. 2

Figura. 2: Estructura de accionamiento diferencial AGV



Fuente: AGVnavigation analysis based on multi-sensor data fusion", Multimedia Tools and Applications

Modelo Híbrido EASYBOT E410

Modelo AGV cinemático y dinámico [13] se presenta a continuación en la figura 3.

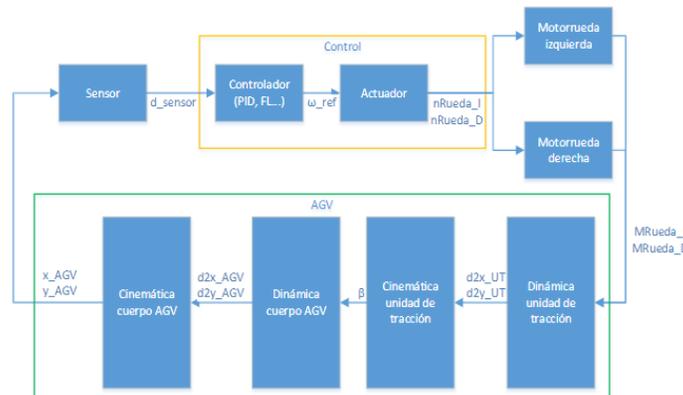
Figura. 3. Easybot Std 410



Fuente: AGVnavigation analysis based on multi-sensor data fusion", Multimedia Tools and Applications

Este modelo se compone de los siguientes módulos:

Figura. 4. Diagrama de módulos de AGV



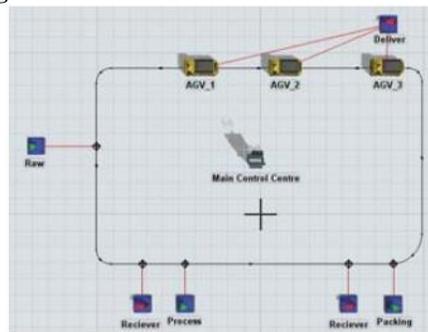
Fuente: AGVnavigation analysis based on multi-sensor data fusion", Multimedia Tools and Applications

1. El Modelo cinemático del Easybot: relaciona la velocidad de las ruedas con la del AGV. Como aproximación, solo se considera únicamente este modelo ya que permite obtener resultados suficientemente precisos para condiciones normales de operación.
2. Modelo dinámico del Easybot: se deriva a partir del formalismo de Newton-Euler que permite calcular las aceleraciones que sirven de entrada al modelo cinemático. En condiciones de uso limitadas (velocidad alta, curvas muy cerradas, aceleración y frenado constante, etc.)

En el artículo se muestra el proceso el AGV en almacén vía red de sensores inalámbricos

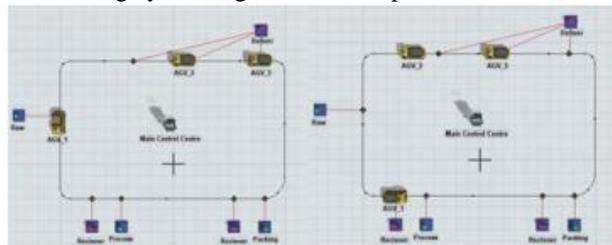
Primero se crea el modelo del diseño usando el software Flexsim. Después de construir todo el diseño, se generan asociaciones para cada cola con el objetivo de que esos diversos tipos de partes sigan varias rutas.

Figura. 5. Diseño del almacén usando Flexsim



Fuente: Multimedia Tools and Applications

Figura. 6. Carga y descarga de material por AGV-1, estación 1 y 2

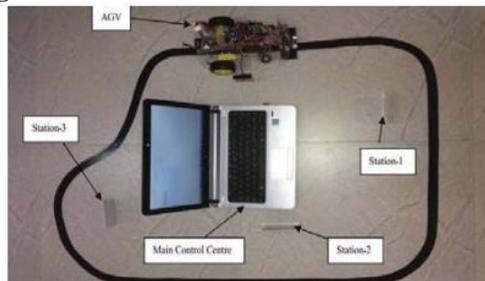


Fuente: Multimedia Tools and Applications

En la parte de simulación definió tres AGV para cuatro estaciones, por otra parte, en la sección de hardware, consideramos un AGV para fines de enrutamiento en tres estaciones. Además de esto, cuando comienza la simulación, AGV debe estar conectado a un punto LFW (búsqueda de trabajo). Si este punto de control de reinicio tiene conexiones de puntos de estacionamiento, cada AGV se asignará a un lugar de estacionamiento disponible y se moverá allí de inmediato.

Debido al proceso de enrutamiento, funcionarán tres AGV correspondientemente, pero después de cruzar un valor específico de situación de carga y descarga, los AGV intercambiarán sus actividades. La figura 12 muestra ese AGV mientras se detiene en una estación después de recibir una señal de la computadora host que se conoce como Centro de control principal por la red de sensores inalámbricos (el dispositivo Bluetooth se aplica con fines de comunicación)

Figura. 7. Proceso de calibración AGV a la estación



Fuente: Multimedia Tools and Applications

E. Componentes de un AGV

1. El vehículo (AGV)

Encargado de cumplir las órdenes realizando movimientos de materiales dentro de un sistema, son vehículos diseñados para mover género y productos dentro de un establecimiento, conectando máquinas diferentes dentro del área dedicada al almacenaje con lo cual se ahorra tiempo, energía y espacio en la logística empresarial.

2. La trayectoria guía

Dirige el vehículo para que se mueva a lo largo de la trayectoria establecida, la trayectoria que siguen los AGVs se caracteriza por poder ser variada a través de un patrón flexible y fácilmente modificable. Este tipo de sistemas garantizan el transporte de materiales en una ruta predeterminada, de manera ininterrumpida y sin que sea necesaria la intervención directa del hombre.

3. La unidad de control

Supervisa y dirige los procedimientos y actividades del sistema. Cada unidad de transporte implementa en modo local el control lineal de seguimiento de velocidades, que permiten incorporar restricciones físicas en la ley de control y anticiparse a los cambios de referencia suavizando la respuesta del AGV.

4. La interfaz de computadora

Se comunica con el sistema y las computadoras, es necesario que los AGV tengan la capacidad de compartir información en todo momento del estado actual, o por lo menos, como lo requiera el proceso, de manera que se pueda consultar a través de una interfaz amigable y de diferentes dispositivos como teléfonos celulares y computadoras personales y esté disponible para los usuarios interesados o dueños de un proceso productivo.[14]

F. VENTAJAS – DESVENTAJAS DE LOS AGV'S

Ventajas

- Precisión y seguridad de funcionamiento.
- Posibilidad de trabajar 24 h/7 días sin intervención del personal.
- Menor riesgo de accidentes de trabajos con maquinaria pesada durante varias horas al día.
- Mayor seguridad laboral ya que los vehículos AGV están especialmente indicados para operar en entornos industriales peligrosos para el ser humano. [15]

Flexibilidad

- No se requieren infraestructuras para la manutención de los materiales.
- El número de AGV puede aumentarse fácilmente si aumenta el volumen de actividad.
- Se actualizan sin tener que parar totalmente las instalaciones.
- Facilidad para reconfigurar los recorridos o añadir nuevas máquinas a servir.
- El flujo de trabajo se distribuye de manera eficaz y dinámica entre los AGV. [16]

Transporte eficaz, fiable y flexible

- Ningún error en los destinos.
- Mayor precisión en la gestión de las existencias.

Funciones de la tecnología AGV

- Compatibilidad con cualquier tipo de automatización.
- Eficaz optimización de los flujos de transporte en función del parque de vehículos disponible, de las condiciones de tráfico y de las tareas de transporte. [17]
- Consta de un sistema de gestión del tráfico que evita choques.

Desventajas

- Su velocidad de avance es relativamente lenta en los vehículos: en efecto, una alta velocidad de desplazamiento podría provocar la pérdida de la ruta puesto que este sistema es sensible incluso a las asperezas del pavimento.
- Es de escasa precisión del recorrido ya que el vehículo corregirá su posición sólo en las proximidades de los imanes detectados.
- El guiado magnético es una de las desventajas que se viene dando. [18]

Aplicaciones en la Industria

- *Industria Automotriz*

Los AGV's en la industria automotriz es uno de los lugares en el que se puede encontrar gran presencia de este tipo de vehiculos, debido a que se lo necesita en la cadena de montaje del automovil, por la manipulacion de cargas del mismo. Fig.8

Figura. 8. AGV en la industria Automotriz



Fuente: Control De Un Vehículo Guiado Automáticamente

Dentro de la industria automotriz, se lo puede aplicar en las zonas urbanas, el cual aborda la confiabilidad operativa y la seguridad de los vehículos de guiado autónomo a lo largo de las carreteras, en donde se requiere una integración muy estrecha entre la detección ambiental y el control de la dinámica del vehículo.

Esto se basa en determinar los límites relevantes en un carril, utilizando una cámara convencional y una estrategia de control lateral y longitudinal limitada para un AGV cuya dinámica se describe mediante un modelo no lineal con dos entradas. El objetivo es controlar el AGV para seguir una trayectoria deseada mientras se evita la salida del carril. Para este propósito, se utiliza un algoritmo basado en visión para determinar los límites de los carriles de la carretera con respecto al vehículo y posterior se genera una trayectoria de referencia. [19]

○ *Industria Plastica*

En la industria del plástico los AGV's son usados para poder transportar el material ya elaborado o a su vez la materia prima, desde el área de fabricación hacia el almacén o desde el almacenamiento de materia prima hasta el área de producción.

○ *Industria De Fibra De Vidrio*

En este sector industrial los AGV's han sido generadores de nuevas oportunidades con base al desarrollo de la tecnología para la producción, lo que antes era inimaginable con operaciones manuales. En algunas aplicaciones estos sistemas realizan la fabricación de los hilados de la fibra de vidrio tirando del producto a través de las etapas de proceso. Una vez que los hornos comienzan a derretir el cristal, el producto debe continuar avanzando, una tarea difícil para los conductores manuales. Fig. 9

Figura. 9. AGV's en la industria de Fibra de vidrio



Fuente: Control De Un Vehículo Guiado Automáticamente

○ *Tipos De Agv En La Industria Manufacturera*

Existen muchos tipos de AGV en la industria y los fabricantes pueden diseñarlos y construirlos de acuerdo a las necesidades que la compañía lo requiera o que los clientes lo necesiten. Existen algunos modelos mucho más reconocidos que otros, esto debido a su manera de utilizarlo según

las necesidades que se requiera. Las aplicaciones que se pueden dar en la industria son variadas como transportar diferentes tipos de cargas y pesos, una vez visto las aplicaciones en la industria, se expone los tipos de AGV mas usados en las mismas. [20]

Agv De Horquillas

Los vehículos de horquillas son los más usados en la industria debido a su alta funcionabilidad y aplicación en las diferentes áreas que requieran carga, descarga y transporte de materiales. Fig. 10. Éstos vehículos pueden tener diferentes tipos de horquillas; ya sean fijas, múltiples o de apertura automática. Estos tipos de vehiculos, pueden soportar diferentes cantidades de peso y alcanzar diferentes alturas. A continuación se presenta sus principales características:

Figura. 10. AGV de Horquillas



Fuente: Caracterización de un AGV en el sistema de manufactura flexible

	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
	Horquillas individuales	Horquillas para grandes alturas
Unidades transportadas	1 a 2	1
Capacidad de carga	2500 kg	1500 kg
Elevación máxima	3400 mm	9000 mm
Velocidad	1,5 m/s	1,5 m/s
Espacio de maniobra	34000 mm	1400 mm

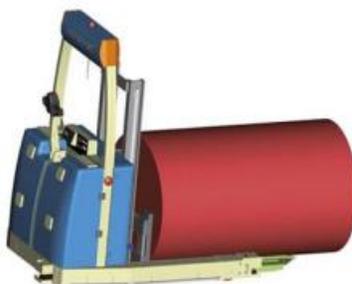
Tabla I. Características Principales AGV de Horquillas

Agv De Bobinas

Los Vehículos para bobinas son usados principalmente para el transporte de la materia prima (bobinas) ya sea en la industria textil como papelería. Fig. 11. En estas industrias se necesitan que

los vehículos tengan una gran capacidad de carga debido a que estas bobinas son de gran peso y de gran volumen por lo que se presentan a continuación sus características principales: [21]

Figura. 11, ACV de Bobinas



Fuente: Caracterización de un AGV en el sistema de manufactura flexible

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Vehículos para Bobinas	
Tipo de elevación	Horquillas curvas
Capacidad de carga	2500 kg
Elevación máxima	4000 mm
Velocidad	1,5 m/s

Tabla II. Características Principales AGV de Bobinas

Agv Contrapesados.

Los vehículos contrapesados tienen básicamente la misma funcionalidad que los vehículos de horquillas a diferencia de qué estos vehículos son empleados para trabajos que requieran elevaciones a mayor altura, llegando a elevarse hasta los 11m.

	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
	Horquillas individuales	Horquillas laterales
Unidades transportadas	1 a 2	1
Capacidad de carga	2000 kg	1200 kg
Elevación máxima	4000 mm	11000 mm
Velocidad	1,5 m/s	1,5 m/s

Tabla III. Características Principales AGV Contrapesados

Agy Con Plataforma

Si la necesidad es transportar cargas con un peso de hasta 10 toneladas y con un volumen mucho mayor, los vehículos con plataforma se encargan de realizar el trabajo de manera eficiente debido a que estas cargas van apoyadas en estas plataformas y por lo general a ras de suelo.

Este tipo de vehículo con plataforma necesita un espacio de maniobra de 4 metros para poder llevar las cargas a una velocidad de 1.2 metros por segundos. A continuación, se presentan las características. Fig 12.

Figura. 12. AGV con plataforma



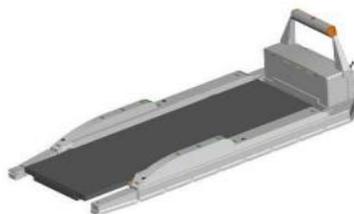
Fuente: Caracterización de un AGV en el sistema de manufactura flexible

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Vehículos para plataforma	
Capacidad de carga	1000 kg
Elevación máxima	120 mm
Velocidad	1,2 m/s
Espacio de maniobra	4800 mm

Tabla IV. Característica Principales AGV con Plataforma

Agy Con Transportador

Los AGV con transportador son mayormente conocidos en los procesos productivos debido a que su plataforma cuenta con transportadores como cadenas, rodillos o cintas. Fig. 13. Este tipo de vehículo se puede acoplar de manera perfecta con sistemas de transportes de materiales como lo suelen ser a las bandas transportadoras. [22]

Figura. 13. AGV con transportador

Fuente: Caracterización de un AGV en el sistema de manufactura flexible

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Vehículos para cargas pesadas	
Dimensiones	8200 x 2300 mm
Capacidad de carga	15000 kg
Elevación máxima	120 mm
Velocidad	0,7 m/s

Tabla V. Características Principales AGV Transportador

Conclusión

Este documento de revisión bibliográfica refleja los resultados de diferentes investigaciones sobre AGV. Los cronogramas de logros importantes desde la concepción de las tecnologías AGV, donde se analizó su funcionamiento, de forma automatizada y alimentada por baterías sin la necesidad de operadores o estructuras fijas en el suelo y que se adaptan a entornos cerrados y al aire libre. Permitiendo de esta manera ofrecer soluciones para el transporte de materia prima, mercancía, objetos, entre otros, de acuerdo con la necesidad de automatizar procesos, mejorar tiempos, flujos de producción.

Los AGV's que se expusieron en el trabajo son de dimensiones considerables, por lo que lo más recomendable es que cada empresa u organización diseñe sus propios vehículos de acuerdo con las necesidades que se necesiten cubrir con especificaciones más precisas al trabajo que se va a realizar. Esto garantiza mayor flexibilidad en cualquier tipo de industria que se esté involucrado. Se determina que los vehículos guiados automáticamente (AGV) son muy utilizados en la industria, principalmente en los países desarrollados, con la finalidad de sustituir a las personas en labores que representan algún riesgo o bien en lugares donde se requiere de precisión y continuidad en el acomodo dentro de almacenes. Es importante conocer que un AGV cumple tareas importantes como la navegación y guiado, cálculo de rutas, administración de tráfico, transferencia de carga.

Dentro del desarrollo de seguimiento de trayectorias, existen varias maneras o métodos de planificarlas según el entorno, estos métodos buscan caminos libres de obstáculos que minimizan la trayectoria recorrida. Un AGV cuenta con diferentes características cinemáticas y dinámicas, por lo tanto, para determinar la trayectoria del AGV se puede realizar un análisis cinemático, determinado por el número y posición de las ruedas, mismo que hace posible trazar cualquier ruta que se desee asignar al AGV, con ello, se da flexibilidad para la planificación y aplicación de estas trayectorias en diferentes condiciones de trabajo. Considerando que la generación y seguimiento de trayectorias requieren de un procesamiento computacional elevado y la implementación de diversos sensores.

Los AGV se presentan de acuerdo con la solución que ofrecen para el transporte de materia prima, mercancía, objetos, entre otros, de acuerdo con los ambientes industriales que tienen la necesidad de automatizar procesos y aseguramiento de la integridad del producto y del recurso humano, en general cualquier tipo de tareas donde la presencia de seres humanos implique un riesgo.

Referencias

1. E. Betancur Valencia, J. D. Betancur Paz, and J. A. Bolívar Gómez, “Diseño y construcción del prototipo de un vehículo guiado automáticamente - AGV para la empresa SOFASA S.A.,” Universidad EAFIT, Medellín, 2011. Accessed: May 18, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10784/5463>
- 2.M. W. Díaz Saravia and J. M. Trejo Peraza, “Diseño de prototipo de vehículo autónomo utilizando redes neuronales: aplicación para el transporte de materiales,” 2019.
- 3.S. A. M. Moreno and N. D. M. Ceballos, “Vehículos de guiado autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: una revisión,” *Revista Politecnica*, vol. 15, no. 28, pp. 117–137, 2019.
- 4.Espinosa, C. Santos, and J. E. Sierra-García, “Transporte multi-AGV de una carga: estado del arte y propuesta centralizada,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 18, no. 1, pp. 82–91, 2020.
- 5.E. Nicolás, G. Dorado, J. César, and S. Vargas, “‘Desarrollo del prototipo de un vehículo autónomo (AGV)’ PRESENTA”.
- 6.D. David, P. Albillos, D. Juan, and I. L. Salgado, “TRABAJO FIN DE MÁSTER Diseño e implantación de una línea de AGVs”.

- 7.L. Lynch, T. Newe, J. Clifford, J. Coleman, J. Walsh, and D. Toal, "Automated Ground Vehicle (AGV) and sensor technologies-A review," *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*, vol. 2018-December, pp. 347–352, Jan. 2019, doi: 10.1109/ICSENST.2018.8603640.
- 8."MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN VEHÍCULO DE GUIADO AUTOMÁTICO PARA LA INDUSTRIA 4.0 (MATHEMATICAL MODEL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF AN AUTOMATED GUIDED VEHICLE FOR INDUSTRY 4.0)." https://redib.org/Record/oai_articulo3527864-modelo-matem%C3%A1tico-y-an%C3%A1lisis-estructural-de-un-veh%C3%ADculo-de-guiado-autom%C3%A1tico-para-la-industria-40-mathematical-model-structural-analysis-automated-guided-vehicle-industry-40 (accessed May 19, 2022).
- 9.N. Isozaki, D. Chugo, S. Yokota and K.Takase, "Camera-based AGV navigation system for indoor environment with occlusion condition," 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2011, pp. 778-783, doi:10.1109/ICMA.2011.5985760.
- 10.Sanchez, R., Sierra-García, J.E., Santos, M. 2022. Modelling of a hybrid tricycle-differential AGV. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 19, 84-95 <https://doi.org/10.4995/riai.2021.14622>
- 11.M. Echeverri Estrada, Artist, *Caracterización de un AGV (vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible, caso Centro Tecnológico de Automatización CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana*. [Art]. Pontificia Universidad Javeriana, 2013.
- 12.M. Dutra, J. Archila, and O. Lengerke, "Diseño Mecatronico de un Robot Tipo AGV 'Automated Guided Vehicle,'" *Articulo*, vol. 7. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Jun. 02, 2008. Accessed: Jun. 21, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756884008.pdf>
- 13.M. Smieszek, M. Dobrzanska P. Dobrzanski, "Measurement of Wheel Radius in an Automated Guided Vehicle", *Applied Sciences*, vol. 10, n.º 16, p. 5490, agosto de 2020. Accedido el 16 de mayo de 2022. Disponible: <https://doi.org/10.3390/app10165490>
- 14.T.-c. Wang, C.-s. Tong y B.-l. Xu, "AGV navigation analysis based on multi-sensor data fusion", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, n.º 7-8, pp. 5109–5124, julio de 2018.

Accedido el 16 de mayo de 2022. [En línea].

Disponible:

<https://doi.org/10.1007/s11042-018-6336-3>

15. Chakma, R., Mahtab, S. S., Milu, S. A., Emon, I. S., Ahmed, S. S., Alam, M. J., ... & Xiangyang, L. (2019, September). Navigation and Tracking of AGV in warehouse via Wireless Sensor Network. In *2019 IEEE 3rd International Electrical and Energy Conference (CIEEC)* (pp. 1686- 1690). IEEE.
16. C. F. R. Rafael E. MONTAÑO, Artist, *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN AGV EN UNA CELDA DE MANUFACTURA*. [Art]. Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2007.
17. C. F. Leyva, Artist, *Estudio de implantación de AGVs en la fábrica X*. [Art]. ETSEIB, 2010.
18. S. C. PRODUCTION, Artist, *Vehículos de Guiado Automático*. [Art]. CERAMICS SYSTEM, 2012.
19. E. A. Oyekanlu et al., “Una revisión de los avances recientes en tecnologías de vehículos guiados automatizados: desafíos de integración y áreas de investigación para aplicaciones de fabricación inteligente basadas en 5G,” *IEEE access*, vol. 8, pp. 202312–202353, 2020.
20. Madrigal Moreno, Sergio Alejandro y Muñoz Ceballos, Nelson David. *Vehículos guiados autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: Una revisión*. Medellín : s.n., 2019. CC BY-NC-SA 4.0.
21. Echeverri Estrada, Juan Martín y Escobar Murcia, Paula Andrea. *CARACTERIZACIÓN DE UN AGV (VEHÍCULO GUIADO AUTOMÁTICAMENTE) EN EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE*. Bogotá : s.n., 2012.
22. Roger V., Bostelman y Elena R., Messina. *Towards Development of an Automated Guided Vehicle Intelligence Level Performance Standard*. West Conshohocken : s.n., 2016.