

CARACTERIZACIÓN DE UN AGV (VEHÍCULO GUIADO AUTOMÁTICAMENTE) EN EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE; CASO CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN CTAI DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

JUAN MARTÍN ECHEVERRI ESTRADA
PAULA ANDREA ESCOBAR MURCIA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.
2012

CARACTERIZACIÓN DE UN AGV (VEHÍCULO GUIADO AUTOMÁTICAMENTE) EN
EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE; CASO CENTRO TECNOLÓGICO DE
AUTOMATIZACIÓN CTAI DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

JUAN MARTÍN ECHEVERRI ESTRADA
PAULA ANDREA ESCOBAR MURCIA

Trabajo de Grado

DIRECTOR

SERGIO RAMIRO GONZÁLEZ
INGENIERO ELECTRÓNICO

CODIRECTOR

MARTHA RUTH MANRIQUE
LICENCIADA EN MECANICA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.
2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 2012

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis, es un esfuerzo en el cual participaron varias personas directa o indirectamente. Leer, opinar, corregir, animar o simplemente dar un consejo, es razón suficiente para agradecer el acompañamiento a lo largo de estos dos semestres de trabajo continuo.

Gracias al Ing. Sergio González por haber confiado en nosotros, por la paciencia y en especial por habernos guiado y dirigido el proyecto a través de este año. A la codirectora Martha Manrique ya que siempre tuvo tiempo para atender nuestras dudas y a todo el personal del CTAI que siempre con su buena actitud estuvieron dispuestos a colaborarnos.

Gracias también a nuestros queridos padres y hermanos que nos acompañaron en este proceso que significó nuestro grado como ingenieros industriales y que, de forma incondicional estuvieron a nuestro lado con palabras de apoyo y de ánimo hasta poder culminar con este proceso.

Gracias a todos.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	MARCO TEÒRICO	17
3.1	¿QUÉ ES UN AGV?	17
3.2	¿QUÈ ES UN SISTEMA AGV?.....	17
3.3	DISEÑO DE UN SISTEMA AGV	17
3.4	OBJETIVOS DE UN SISTEMA AGV	18
3.5	INTERACCIÓN DE UN AGV CON SUBSISTEMAS.....	19
3.6	VENTAJAS DE LOS SISTEMAS AGV.....	19
3.7	COMPONENTES DE UN SISTEMA AGV	20
3.8	SISTEMAS DE SEGURIDAD	20
3.9	SISTEMAS DE ENERGÍA.....	21
3.10	TIPOS DE AGV´S.....	21
3.11	ADMINISTRACIÓN DE UN AGV	22
3.11.1	Sistemas de guía.....	22
3.11.2	Control de dirección del AGV.....	24
3.11.3	Enrutamiento	24
3.11.4	Número de vehículos en un sistema AGV	25
3.11.5	Sistema de control de un sistema AGV	25
3.11.6	Planificación de trabajo.....	26
4	ESTADO DEL ARTE DE LOS AGV APLICADOS EN LA INDUSTRIA.....	27
4.1	AGV´S APLICABLES A LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA 28	
4.2	ANÁLISIS EN TENDENCIAS DE NAVEGACIÓN	34
5	ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DEL CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL (CTAI)	38
5.1	ANÁLISIS DOFA DEL CTAI COMO CENTRO TECNOLÓGICO.....	38
5.2	ANÁLISIS DOFA DEL FMS (SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE) ...	40
5.3	PLANOS ACTUALES DEL CTAI	42
5.4	DIAGRAMAS DE OPERACIONES ACTUALES.....	44
5.4.1	Descripción del diagrama del FMS	46
5.4.2	Descripción del diagrama MPS (Sistema de producción modular).....	47

5.5	DIAGRAMAS DE RECORRIDO ACTUALES	48
5.6	NECESIDADES ENCONTRADAS EN EL CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL Y SU FMS.....	51
5.7	ESPINA DE PESCADO	53
5.7.1	Personal	53
5.7.2	Espacio	54
5.7.3	Dinero.....	54
5.7.4	Transporte de material.....	54
5.7.5	Usuarios	54
5.7.6	Equipo	54
5.8	ENCUESTAS.....	55
5.8.1	¿Sabe usted que es un vehículo guiado automáticamente AGV? SI_ NO_	55
5.8.2	¿De las funciones listadas del AGV, Cual cree usted que se pueden aplicar al CTAI?	56
5.8.3	¿Teniendo en cuenta las funciones anteriores del AGV, lo considera como una buena herramienta para el CTAI? SI_ NO_.....	58
5.8.4	¿Cree usted que el AGV se puede integrar con las diferentes estaciones del CTAI? SI_ NO_ ¿Cuáles?	58
5.8.5	Con el AGV, liste el tipo de actividades que puede realizar con sus estudiantes	59
5.8.6	Qué inconvenientes se tendrían en una futura implementación.....	59
6	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGV	60
6.1	ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL FMS.....	60
6.1.1	Ultarpol.....	60
6.1.2	Cera	64
6.1.3	Cristalan	64
6.2	CARACTERIZACIÓN DEL AGV	66
6.3	REQUERIMIENTOS.....	71
6.3.1	Motores para el movimiento del robot y para el brazo robotico	71
6.3.2	Fuente de energía	75
6.3.3	Técnicas de carga de las baterías	76
6.3.4	Batería.....	76
6.3.5	Sistema de guiado.....	78
6.3.6	Sistemas de seguridad	79
6.3.7	Ruedas.....	83

6.3.8	Capacidad de carga	84
6.3.9	Puertos de conexión.....	85
6.4	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA	85
6.5	TRAYECTORIAS DEL AGV BASADAS EN LOS DIAGRAMAS DE OPERACIONES Y RECORRIDO PROPUESTOS	86
6.5.1	Diagramas de operaciones propuestos	87
6.5.2	Diagramas de recorrido propuestos.....	90
6.5.3	Análisis del diagrama de recorrido propuesto del FMS y MPS con la implementación del AGV.	92
7	MODELACION DEL AGV	93
7.1	ESTRUCTURA FÍSICA DEL ROBOT	93
	Modelo en lego mindstorms	94
7.2	PROGRAMACIÓN DEL ROBOT	100
7.3	MODELOS MATEMÁTICOS DE LA NAVEGACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL ROBOT	103
8	SIMULACIÓN GRÁFICA DEL AGV	108
8.1	SIMULACIÓN ACTUAL DEL FMS	108
9	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA PARA UNA IMPLEMENTACIÓN A FUTURO	113
9.1	COTIZACIONES.....	113
9.2	BENEFICIOS Y RESULTADOS	117
10	CONCLUSIONES	119
11	RECOMENDACIONES.....	121
12	BIBLIOGRAFIA	126
13	ANEXOS.....	129

ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	AGV de horquillas.....	28
Ilustración 2.	AGV de bobinas.....	29
Ilustración 3 .	AGV contrapesados.....	30
Ilustración 4.	AGV con plataformas.....	31
Ilustración 5.	AGV con transportador	32
Ilustración 6.	AGV para cargas pesadas.....	33
Ilustración 7.	Sistema de guiado por cubos.....	35

Ilustración 8. Sistema de guiado laser	35
Ilustración 9. Representación de un sistema de guiado por láser	36
Ilustración 10. Sistema de guiado magnético.....	37
Ilustración 11. Sistema de guiado combinado.....	37
Ilustración 12. Planos actuales de la distribución del FMS.....	43
Ilustración 13. Diagrama de operaciones actual del FMS	45
Ilustración 14. Diagrama de operaciones de las MPS.....	47
Ilustración 15. Diagrama de recorrido actual –FMS	49
Ilustración 16. Diagrama de recorrido actual - MPS	50
Ilustración 17. Espina de pescado	53
Ilustración 18. Ejemplo de la ubicación de las ruedas en el AGV.....	84
Ilustración 19. Puertos de conexión	85
Ilustración 20. Diagrama de operaciones del FMS.....	87
Ilustración 21. Diagrama de operaciones del MPS.....	88
Ilustración 22. Diagrama de recorrido propuesto para el FMS	90
Ilustración 23. Diagrama de recorrido propuesto para el MPS	91
Ilustración 24. Horquillas para pallets	93
Ilustración 25. Robotino	94
Ilustración 26 . Diseño en Lego Mindstorms del AGV propuesto.....	94
Ilustración 27. Lego Mindstorms seguidor de línea	95
Ilustración 28. Brazo robótico lego Mindstorms.....	95
Ilustración 29. Modelo del AGV con dimensiones	96
Ilustración 30. Modelo del AGV.....	99
Ilustración 31. Modelo de las pinzas del AGV	99
Ilustración 32. Modelo de las ruedas del AGV	100
Ilustración 33 .Programacion de seguidor de linea.....	101
Ilustración 34. Programacion Movimientos horizontales Brazo robotico.....	102
Ilustración 35 .Programacion Movimientos verticales Brazo robotico.....	102
Ilustración 36 .Programación Mordazas Brazo robótico	103
Ilustración 37. Proceso del FMS actual.....	108
Ilustración 38. Proceso del MPS actual.....	108
Ilustración 39. Propuesta de la integración del FMS y MPS.....	109
Ilustración 40. Estadísticas de la simulación propuesta	110
Ilustración 41. Estadísticas de la simulación propuesta	111
Ilustración 42. Estadísticas de la simulación propuesta	111
Ilustración 43. Estadísticas de la simulación propuesta	111
Ilustración 44. Estadísticas de la simulación propuesta	112

TABLAS

Tabla 1. Características de los vehículos de horquillas.....	29
Tabla 2. Características de los vehículos de bobinas	29
Tabla 3. Características de los vehículos contrapesados.....	30
Tabla 4. Características de los vehículos con plataforma	31

Tabla 5. Características de los vehículos con transportador	32
Tabla 6. Características de los vehículos para cargas pesadas.....	33
Tabla 7. Pareto	57
Tabla 8. Propiedades mecánicas del ultrapol.....	61
Tabla 9. Propiedades Ambientales del ultrapol	62
Tabla 10. Propiedades del ultrapol	63
Tabla 11. Presentación de Placas y Láminas de ultrapol	63
Tabla 12. Presentación de Barras Cilíndricas de ultrapol.....	64
Tabla 13. Presentación de Cera	64
Tabla 14. Especificaciones Cristalán	65
Tabla 15. Aplicabilidad del AGV en el CTAI	66
Tabla 16. Aplicabilidad del AGV en el CTAI	67
Tabla 17. Aplicabilidad del AGV en el CTAI	68
Tabla 18. Aplicabilidad del AGV en el CTAI	69
Tabla 19. Calificación de los diferentes tipos de AGV	70
Tabla 20. Motores de corriente continua.....	72
Tabla 21. Especificaciones Motor DC (GR 42x25)	75
Tabla 22 Motores de corriente continua.....	75
Tabla 23. Calificación de tipos de baterías.....	77
Tabla 24. Sensor de proximidad	80
Tabla 25 Sensor de proximidad	81
Tabla 26. Sensor infrarrojo	82
Tabla 27. Sensor infrarrojo	83
Tabla 28. Especificaciones de las ruedas	84
Tabla 29. Características del Duraluminio.....	97
Tabla 30. Tipos de fibra	98
Tabla 31. Características de la fibra de carbono	98
Tabla 32. Velocidad del AGV	104
Tabla 33. Tiempos de carga y descarga	104
Tabla 34. Distancia primera entrega	105
Tabla 35. Distancias segunda entrega.....	105
Tabla 36. Tiempos del FMS.....	110
Tabla 37. Cotización FESTO	114
Tabla 38. Cotización artículo por artículo del AGV	115
Tabla 39. Estimación de costos de una implementación AGV	116
Tabla 40. Ventajas y desventajas de las cotizaciones	117

GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultado encuesta pregunta 1	55
Gráfica 2. Resultado pregunta 2 Encuesta	56
Gráfica 3. Resultado Pareto.....	57
Gráfica 4. Resultado pregunta 3	58
Gráfica 5. Resultado pregunta 4	58

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta.....	129
Anexo 2. Simulación del AGV en el CIM.....	130
Anexo 3. Programación del robot. Brazo robótico y AGV.....	130

1 INTRODUCCIÓN

“Hoy en día la educación es la forma en la cual los seres humanos impactan en la sociedad, la manera en la que se dan a conocer al mundo y una herramienta la cual permite abrir puertas para el desarrollo personal de cualquier individuo”¹. El mundo es cada vez más competitivo y los requerimientos en la adquisición de nuevos conocimientos aumentan en todas las áreas de trabajo en el mundo exterior haciendo que las personas busquen universidades o escuelas en donde encuentren elementos diferenciadores que les aporten valor agregado a su formación. Las universidades, que cada vez son más grandes e importantes están en la labor de actualizarse y estar a la vanguardia en temas que puedan aportar tanto a la formación personal como a la educación profesional de sus estudiantes brindándoles un excelente servicio para salgan bien preparados al mundo laboral. Ofrecer un excelente servicio con herramientas que les permitan a los estudiantes y profesores desarrollarse mejor es primordial para el buen nombre de la universidad y al mismo tiempo para estar a la vanguardia de las nuevas técnicas y tecnologías de enseñanza.

Lo que se pretende con este trabajo de grado es realizar un estudio en el CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL (CTAI) de la Pontificia Universidad Javeriana con el fin de obtener resultados sobre una posible implementación a futuro de un vehículo guiado automáticamente (AGV) que le permita al laboratorio no solo aumentar sus herramientas de trabajo, sino también ofrecer a los estudiantes nuevas tecnologías que les den elementos diferenciadores al momento de salir al mundo laboral.

La idea no es pretender que el CTAI se cargue de nuevas tecnologías y equipos ineficientes a los cuales no se les de uso, sino por el contrario, que las implementaciones futuras que posiblemente vengan sirvan como herramientas de aplicación continua y eficiente en el laboratorio y que al mismo tiempo los estudiantes puedan utilizar el conocimiento adquirido con estas herramientas en el mundo laboral en un futuro.

El estudio se realizó basándose en dos principios básicos como se mencionó anteriormente, el beneficio de los estudiantes como futuros ingenieros y el beneficio del centro tecnológico. Para iniciar se realizó un análisis de las necesidades del CTAI como centro tecnológico y en su FMS² (Sistema de manufactura flexible) basándose en análisis DOFA³ y diagramas de operaciones y recorrido actuales del sistema. A partir de estas necesidades se decidió que un AGV era una herramienta que ayudaba en gran medida a mejorar los aspectos débiles del laboratorio y que si se podría tomar como tema de estudio para el desarrollo del trabajo. Gracias a esto luego se realizó un

¹ Porque la educación es importante. Dr. Veronikha Salazar Junio 2012.

² Un FMS o sistema de manufactura flexible según Grover (1990) consiste en un sistema de estaciones de procesamiento conectadas por un sistema de manejo y control automático. El FMS recibe su nombre a su flexibilidad y capacidad de producir diferentes productos.

³ Herramienta analítica que permite trabajar los factores externos e internos que afectan su negocio basándose en 4 categorías principales. Debilidades, Fortalezas, Amenazas y Oportunidades.

diagrama de espina de pescado (Diagrama de causa y efecto)⁴ en el cual se analiza el efecto producido, en este caso por una implementación de una nueva tecnología y cuáles son los factores que pueden afectar esta nueva herramienta. Por último se realizaron encuestas a los profesores y asistentes del centro en donde se pretendía saber el conocimiento que se tenía acerca de esta nueva tecnología, el pensamiento acerca de una posible implementación y obtener características de que ayudaran a caracterizar mejor la herramienta para ajustarla al laboratorio. Teniendo las necesidades definidas, los factores que afectarían el proceso de implementación y la opinión de las personas que trabajan en el laboratorio, el paso a seguir fue conocer cuáles eran las características físicas que debía tener el AGV⁵. Se analizaron los materiales que se trabajan en el sistema de manufactura flexible, los diferentes tipos de AGVs que se encuentran en el mercado y que funcionan principalmente en entornos manufactureros y por último se definieron los requerimientos que debía tener el robot teniendo en cuenta el entorno y las labores que este debía realizar. Seguido a esto y contando con las características principales se prosiguió a realizar la modelación del robot realizando una estructura física, una programación utilizando la herramienta lego mindstorms⁶ que demostrara como podría ser el uso de este y por ultimo unos modelos matemáticos en donde se definiera cuantos robots se necesitan. Luego se definieron cuales iban a ser las tareas a realizar por el AGV y de qué manera se iba a integrar todo el sistema para poder realizar la simulación de este con la integración. Para la realización de este paso se realizaron y se tuvieron en cuenta los diagramas de recorrido y operaciones de las nuevas tareas del AGV y así se definieron las trayectorias de este en el sistema de manufactura flexible. Finalmente, se realizó un análisis costo beneficio en donde se muestra cuáles son los beneficios obtenidos teniendo en cuenta la inversión que se debe realizar.

⁴ Niebel (2009) Dice que el diagrama causa y efecto consiste en definir la ocurrencia de un efecto al que se pretende llegar y analizar los posibles factores que pueden afectar la ocurrencia de este.

⁵ Según Bawa (2007) El AGV es un robot móvil controlado por computador utilizado para el transporte de material en una planta

⁶ Herramienta didáctica de Lego la cual permite realizar diferentes diseños de robots los cuales son controlados por un microprocesador.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Caracterización de un AGV (Vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible ajuste al centro tecnológico de automatización industrial de la Pontifica Universidad Javeriana y sus necesidades.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las necesidades del CTAI, haciendo un análisis de las condiciones de este y sus usuarios, profesores y estudiantes.
- Determinar las características físicas del AGV con respecto a las necesidades, requerimiento del sistema de manufactura flexible y su funcionamiento en el CTAI.
- Modelar el AGV de acuerdo a las características.
- Simular el AGV en donde muestre gráficamente su integración con el sistema de manufactura flexible y desarrollo de labores en el CTAI.
- Desarrollar un análisis costo-beneficio de la propuesta de implementación a futuro del AGV.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 ¿QUÉ ES UN AGV?

Los vehículos guiados automáticamente conocidos hoy en día como AGV, son un desarrollo que se viene presentando desde 1953 inventado por Berrett Electronics. Un AGV “es un robot móvil controlado por computador utilizado para el transporte de material”⁸.

3.2 ¿QUÉ ES UN SISTEMA AGV?

“Un sistema de vehículos guiados automáticamente es una batería de vehículos con capacidades de programación de destino, selección de trayectoria y posicionamiento. El sistema AGV pertenece a una clase de sistemas de manejo de materiales la cual se caracteriza por ser altamente flexible, inteligente y versátil que se utiliza para transportar materiales desde diversos puntos de carga a lo largo de las instalaciones de una planta o entorno”⁹ (Bawa, 2004).

“Los sistemas AGV comprenden varios aspectos y a la hora de realizar el diseño de un tipo de sistema como estos de debe tener en cuenta el diseño de las trayectorias, el número de vehículos que comprende el sistema, los requerimientos que deben tener los vehículos para adaptarse fácilmente al sistema, que tipos de materiales va a transportar el AGV y como cuando y donde realizara las cargas y descargas de material, como se va a realizar el manejo de las baterías de los vehículos y cuáles van a ser los sistemas de seguridad empleados para evitar las posibles colisiones y daños del sistema”¹⁰ (Le – Anh, Koster, 2003).

3.3 DISEÑO DE UN SISTEMA AGV

El diseño de un sistema AGV es una tarea compleja que cuenta con muchas variables que impactan en el funcionamiento del mismo y que son difíciles de predecir. Las decisiones que se tomen deben estar ligadas a otras variables y todas estas decisiones tienen implicaciones importantes en el sistema. según Iris (2003) los

⁷Bawa, H.S, (2007). sistemas de vehículos guiados automáticamente (pp.550-557). Sistemas de manufactura flexible. (Pp.558-565).

⁸ Trebilcock, B. (2011), what is an AGV? *Modern Materials Handling*, 66(6), 22-26, 28. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/903293697?accountid=13250>

⁹ Bawa, H. S. (2004). *Procesos de manufactura, Sistema de vehículos guiados automáticamente (550-557)*.

¹⁰ Le – Anh, T, Koster, M. (2003). *A review of design and control of automated guided vehicle system*.

principales aspectos a tener en cuenta en un diseño de un sistema AGV son las siguientes:

- 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

En donde las trayectorias definen por donde se debe mover el AGV, el manejo del tráfico incluye todas las estrategias de seguridad que se deben tener para que los vehículos no colisionen entre sí o con algún otro objeto u o persona, los requerimientos de los vehículos determinan que características deben tener los AGV para poder encajar a la perfección con el sistema (tamaño, forma, sensores, sistema de guiado, programación), la planificación se refiere a que debe hacer cada robot en que momento, las posiciones ideales se refieren a los sitios más seguros de tránsito, el manejo de las baterías está ligado a que baterías se deben tener, cuál va a ser su forma de carga, en que parte de la planta se van a cargar y por último el manejo de fallas se refiere a como se va a manejar las fallas en el sistema.

3.4 OBJETIVOS DE UN SISTEMA AGV

Según Iris (2003) los objetivos principales que debe seguir la implementación de un sistema AGV son los siguientes:

- Maximizar el tróput¹¹ del sistema
- Minimizar el tiempo requerido para terminar todos los trabajos
- Minimizar los tiempos de trayecto de los vehículos cargados o descargados
- Minimizar los costos de movimiento
- Minimizar los tiempos de espera entre cargas

¹¹ Según Goldratt (1985) en su libro la meta el tróput es la velocidad a la que el sistema genera dinero a través de las ventas.

3.5 INTERACCIÓN DE UN AGV CON SUBSISTEMAS

Un AGV se implementa fácilmente en los sistemas de manufactura flexible (FMS) los cuales son sistemas altamente automatizados capaces de producir diferentes partes o productos sin tiempos muertos significativos debidos a los cambios. Este sistema es una combinación de la automatización flexible, tecnología de grupos¹², maquinas herramienta CNC y sistemas de manejo automatizado de materiales¹³.

3.6 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS AGV

- **Flexibilidad:** Estos sistemas son los más flexibles comparados con otros sistemas utilizados en el manejo de materiales. Entre sus ventajas se puede nombrar la alta flexibilidad en los cambios que se pueden hacer en sus recorridos lo cual permite un mejor uso del espacio.
- **Mayor confiabilidad:** Son los más confiables a comparación de otros tipos de sistemas utilizados para el manejo de materiales. Fácilmente el AGV puede ser sustituido por otro en caso de inconvenientes sin causar un paro en el sistema de manufactura.
- **Ahorro de Inversión:** El costo de operación de los AGV es menor que el de otros sistemas de manejo de materiales ya que solo se necesita una persona para su programación. Es fácil de realizarle mantenimiento, consume menos potencia y es muy raro que falle logrando que el tiempo muerto del sistema sea bajo gracias a su funcionamiento continuo.
- **Movimientos libres:** La trayectoria a seguir asegura suavidad, flexibilidad y confiabilidad en las operaciones. Al ser un robot sus movimientos van a estar completamente estandarizados, y si la programación es la adecuada el manejo de materiales se hará de forma segura.
- **Aplicaciones de los AGV:** Estos vehículos cuentan con varias aplicaciones, entre las más importantes existe el transporte, carga y descarga de materiales y limpieza.

¹² La tecnología de grupos es un enfoque en manufactura en el cual se agrupan diferentes estaciones de trabajo similares para que se saque mejor provecho a la producción.

¹³ Este texto se basa en un documento preparado por el Ing. Carlos E. Flores de la facultad de ingeniería de la universidad Rafael Landívar.

3.7 COMPONENTES DE UN SISTEMA AGV

- **El vehículo (AGV):** Encargado de cumplir las órdenes realizando movimientos de materiales dentro de un sistema.
- **La trayectoria guía:** Dirige el vehículo para que se mueva a lo largo de la trayectoria establecida.
- **La unidad de control:** Supervisa y dirige los procedimientos y actividades del sistema.
- **La interface de computadora:** Se comunica con el sistema y las computadoras.

3.8 SISTEMAS DE SEGURIDAD

Para un ambiente más seguro el AGV cuenta con distintos sistemas de seguridad. Scanner laser de seguridad, utilizado en zonas internas, cubre perimetralmente el área del AGV disminuyendo su velocidad a medida que detecta una presencia hasta al punto de parar cuando la presencia que detecta es muy cercana evitando un choque. Bumpers los cuales evitan daños en el AGV en caso de un choque, este cubre las zonas exteriores desprotegidas por otros sistemas de seguridad y se aplican en AGV's que no requieren una velocidad alta en su funcionamiento. Sensores de seguridad, estos también ayudan a detectar objetos cercanos al AGV entre los cuales están los sensores capacitivos los cuales detectan objetos metálicos o no metálicos y se activa mediante un cambio en la capacitancia de su zona activa. Sensor inductivo, a medida que se acerca a un objeto se inducen corrientes de histéresis en el objeto y causa una pérdida de energía y una menos amplitud de oscilación activando el sensor. Sensor infrarrojo, funciona de la forma del scanner laser. Sensor ultrasónico el cual tiene como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas ultrasónicas. Por último está el sensor magnético que detecta objetos magnéticos como el imán o hierro. Los sistemas operativos se encargan de recibir las señales eléctricas de los sensores utilizados para guiar el vehículo. El AGV también está compuesto por distintos sistemas de seguridad para el manejo de la carga, estos detectan el estado de la carga para así evitar accidentes en la carga y descarga de material. Sistema de diagnóstico, es uno de los más importantes, ya que permite analizar el funcionamiento completo del AGV en cualquier momento, este reduce el tiempo de resolución de incidencias y se pueden resolver problemáticas del funcionamiento de este con anticipación.

3.9 SISTEMAS DE ENERGÍA

Este vehículo funciona por medio de energía de un dispositivo electroquímico que almacena energía, también conocido como una batería. Existen diferentes tipos de baterías, la primera llamada batería de plomo ácido que son de las más comunes por su larga vida útil. El material interno conocido como el plomo se sumerge en una solución de ácido sulfúrico y produce un voltaje eléctrico que puede ser recargado. La segunda, batería de gel, es recargable y no se permite el uso de estas en zonas explosivas ni zonas que no tengan una ventilación adecuada. Por último la batería de níquel cadmio o níquel metal hidruro. Estas se usan en AGV's en donde el tiempo de recarga debe ser mínimo para tener un proceso continuo sin interrupción alguna. Se ofrecen diferentes formas de recargarla. Cambio manual, en donde el AGV se desplaza a un punto donde el operario se encarga de cambiarle la batería manualmente. Cambio automático, donde existe un sistema de extracción e introducción al cual el AGV se desplaza cuando está bajo de carga y finalmente, carga caliente en donde el vehículo se acerca al punto predeterminado en donde se conecta al cargador automáticamente manteniéndolo prendido sin la ayuda de un operario.

3.10 TIPOS DE AGV'S

Los tipos de AGV's que existen son utilizados para satisfacer diferentes tareas determinadas por el cliente. A continuación se nombraran algunos de los tipos de AGV utilizados:

- **Vehículos de arrastre:** Vehículo guiado automáticamente al que se le pueden acoplar diferentes remolques los cuales pueden servir para transportar materiales distintos. Son útiles para movilizar grandes volúmenes con peso de 1.500 kg a grandes distancias.
- **Transportadores unitarios de cargas:** Contiene rodillos mecánicos o no mecánicos permitiendo transportar una carga unitaria a bordo del vehículo. Estos vehículos son utilizados en sistemas de almacenamiento y distribución. Las trayectorias son normalmente cortas y pueden transportar de volumen grande.
- **Carretillas de tarimas:** Utilizados en funciones de distribución. Diseñados para el transporte, elevación de cargas y maniobrar cargas en tarimas.
- **Montacargas de horquilla:** Relativamente nuevos. Capacidad de recoger y descargar en tarimas. Utilizado en sistemas que requieren total automatización.

- **Transportadores de carga ligera:** Transporte de carga liviana, capacidades menores de 230 Kg. Utilizados para distancias moderadas entre los almacenamientos y diferentes estaciones de trabajo. Diseñado para espacios limitados.
- **Vehículo de línea de ensamble:** Utilizado para transportar motores, transmisiones y/o vehículos que hacen parte de una línea de ensamble. Estos vehículos sirven para llevar las partes de una estación de trabajo a la otra o para manipular los productos terminados.
- **Vehículos de carga trilateral:** Vehículos con capacidad de trabajar en pasillos estrechos en donde se tiene que hacer la carga y descarga de materiales en poco espacio.
- **Vehículos transportadores de bobinas:** Especializados en el transporte de bobinas. Estas se pueden manejar horizontalmente o verticalmente dependiendo de la necesidad que se tenga.
- **Vehículos contrapesados:** Vehículos a los cuales están diseñados para soportar grandes pesos de más de 1.500 kg. Estos vehículos se usan principalmente como apiladores y cuentan con un contrapeso en su base la cual ayuda a que el peso del material no desequilibre el robot.
- **Vehículos para hospitales:** Diseñados para mejorar todos los procesos logísticos de los hospitales como apoyo en cocina, apoyo en lavandería, reparto de medicamentos u organización de historiales médicos.

3.11 ADMINISTRACIÓN DE UN AGV

3.11.1 Sistemas de guía

Una de las estrategias de planeo utilizadas es el Pathplanning “es un enfoque global de la planificación de trayectorias generando una ruta utilizando la información

conocida donde el robot intentara esquivar los obstáculos detectados por los sensores en el camino. Si la ruta es completamente congestionada, otra ruta será planificada.”¹⁴

Existen diversos sistemas de guiado para el AGV que se pueden utilizar, el uso de estos depende del ambiente que se va a manejar, su aplicación, necesidades y costos de inversión. La trayectoria guía debe ser flexible sin obstaculizar otros tipos de tráfico.

- **Sistema de guiado por cable:** El AGV sigue la trayectoria por medio de un cable energizado perforado en el piso detectando sus señales por medio de una antena del AGV.
- **Sistema de guía óptica:** Partículas fluorescentes incoloras sobre el piso de concreto siguiendo el trayecto establecido. El vehículo contiene foto sensores los cuales leen la trayectoria.
- **Sistema de guía inercial:** Por medio de un microprocesador conduce la trayectoria programada. Para este sistema de guía se utilizan sensores de movimiento que pueden ser acelerómetros y sensores de rotación giroscópicos los cuales ayudan a la rotación del robot.
- **Sistema de guía infrarroja:** El AGV reconoce mediante visión artificial una tira de espejo catadióptrico, realizando sus movimientos para seguir la ruta.
- **Sistema de guiado por cinta reflexiva:** En este tipo de guiado se pueden utilizar diferentes tipos de cintas reflexivas las cuales pueden ser de diferentes colores. Esta cinta se posiciona en el suelo siguiendo la ruta que el robot debe realizar. Mediante un sensor óptico el robot detecta las diferentes intensidades de luz que se reflejan en el suelo y sigue el camino deseado.
- **Sistema de guiado magnético:** El sistema de guiado magnético funciona de la misma manera que el guiado por cinta reflexiva solo que para este caso se utiliza una cinta magnética que es la que va a determinar el posicionamiento y la ruta del robot en el entorno.
- **Sistema de guiado laser:** Existen diferentes tipos de sistema de guiado por láser que se pueden utilizar para las trayectorias de un AGV. El más sencillo de los guiados por láser consta de un láser fijo en el robot. Este sistema es poco flexible ya que el rayo que sale del láser solo va en una dirección definiendo una sola trayectoria previamente establecida. Por otra parte se encuentra el sistema de guiado laser que permite ser más flexible con las trayectorias del

¹⁴Goto, Y., Stentz, A., “Mobile Robot Navigation: The CMU System,” IEEE Expert, Vol. 2, No. 4, Winter, 1987.

{En línea}. Febrero de 2012 {Fecha de consulta}. Disponible en:

<http://www.frc.ri.cmu.edu/~axs/doc/icra94.pdf>.

AGV reflectores en el entorno en donde se pretende tener el AGV. Estos reflectores hacen de espejo y se colocan principalmente en las esquinas para ayudar al robot a realizar los giros predeterminados.

- **Reconocimiento de guía con códigos de barra:** Este sistema utiliza los códigos de barra para que el robot siga la trayectoria. Para este sistema el robot tiene que estar equipado con una cámara en la parte inferior la cual está adaptada para reconocer los códigos de barra que se posicionan a lo largo de la ruta.
- **Sistema de cubos reflectores:** En este sistema dos o tres cubos reflectores son posicionados en las esquinas del área por donde se pretende que se mueva el AGV. Un láser rotacional es posicionado en la parte superior del robot el cual determina las posiciones de los cubos reflectores y manda la información a un computador para determinar el movimiento. Este sistema de cubos reflectores es similar al sistema de guiado por láser con espejos.

Según Le – Anh y Koster (2003) no existe una forma predeterminada para identificar el sistema de guiado ideal para un sistema aunque es importante reconocer e identificar cual es el mejor que se adapte a las características del entorno de trabajo, Los autores mencionan que un experto en la implementación de sistemas de AGV puede servir como ayuda para la decisión o que la experiencia en implementación de sistemas puede ayudar al diseñador a tomar las decisiones correctas al decidir que guía utilizar para el AGV.

3.11.2 Control de dirección del AGV

El objetivo del control de dirección es poder determinar los giros y las maniobras que el AGV debe realizar en un entorno. Para el control de dirección existen el control de dirección de velocidad diferencial y el control de dirección de rueda conducida. Para el primero el AGV es equipado con detectores de velocidad a la izquierda y a la derecha del vehículo los cuales detectan señales de amplitud, si hay diferencia entre las señales de amplitud entre los dos detectores de velocidad el vehículo corrige la dirección. El segundo emplea un tipo de detector guía para determinar si el vehículo está a la derecha o la izquierda del trayecto.

3.11.3 Enrutamiento

Según Le – Anh y Koster (2004) el enrutamiento es uno de los aspectos principales a tener en cuenta en un sistema AGV, ya que es con el enrutamiento cuando se decide que tareas va a realizar el robot y donde se va a realizar la carga y descarga de

material teniendo en cuenta la distribución del espacio donde este debe trabajar. En este proceso del diseño de un sistema AGV es necesario tener en cuenta los trayectos, las intersecciones y las distancias a recorrer por el robot para realizar el enrutamiento de la manera más óptima para el proceso. Para realizar un buen diseño de las rutas de un sistema AGV se pueden tener diferentes criterios que permiten al diseñador llegar a una conclusión clara de cuál es el enrutamiento correcto en el sistema. Según Le – Anh y Koster (2003) El principal criterio para tomar en cuenta es la distancia que debe recorrer el robot, ya que en algunos casos las opciones son múltiples y se debe elegir la ruta que menor distancia le tome al robot realizar sus tareas.

Existen principalmente dos modelos de enrutamiento definidos por Le – Anh y Koster (2003) los cuales son el sistema unidireccional y el sistema bidireccional. El sistema unidireccional, utilizado principalmente en depósitos y centros de distribución tiene como principal objetivo disminuir el tiempo que los vehículos se movilizan cargados y realizar las rutas más cortas evitando interferencias entre los AGV's del sistema. Por otra parte está el sistema bidireccional, el cual es menos utilizado y sirve para escenarios en donde los AGV no tienen tanta interferencia entre sí.

3.11.4 Número de vehículos en un sistema AGV

Le – Anh y Koster (2003) aseguran que el número de vehículos en un sistema AGV puede determinar de manera importante el funcionamiento del sistema. Los altos costos de implementación hacen que determinar el AGV apropiado y el número de vehículos correcto para el sistema sea una decisión importante. En algunos sistemas el número de vehículos se puede estimar de acuerdo al número de zonas en las que se espera los AGV's van a interactuar mientras que en otros sistemas este número de vehículos se estima de acuerdo a modelamientos matemáticos que incluyen los tiempos de ciclo de cargas y descargas y la cantidad de entregas por hora que se espera. De acuerdo a los autores el cálculo de número de vehículos se ve afectado por tres factores principales los cuales son los trayectos que se deben realizar, los sitios de carga y las zonas de descarga.

3.11.5 Sistema de control de un sistema AGV

- **Sistema de control manual:** El trayecto a seguir y operaciones son dirigidas por el operario, considerado como un sistema simple y económico.
- **Sistema controlado por computadora:** Todos los movimientos y transacciones del AGV se controlan por medio del controlador del sistema. Este sistema es eficiente y menos económico.

- **Sistema de control remoto de despacho:** Por medio de un control remoto, un operador emite instrucciones al AGV.

3.11.6 Planificación de trabajo

Le – Anh y Koster (2003) definen la planificación de los vehículos como el sistema que define cuando dónde y cómo los vehículos deben actuar para mejorar el funcionamiento del sistema. Los autores mencionan dos tipos principales de planificación los cuales llaman planificación offline o planificación online.

La planificación offline es aquella donde todos los requerimientos del sistema son conocidos previamente y ya se sabe de antemano cuales son las labores que deben realizar los robots dentro de la planta. Según Le – Anh y Koster (2003) la planificación offline es difícil que se pueda dar en una planta ya que muchas de las necesidades que se tienen en un ambiente de trabajo surgen sobre la marcha.

La planificación online de tareas es aquella donde las tareas se asignan a medida que pasa el tiempo. Este tipo de planificación es más acercada a la realidad ya que como se dijo anteriormente muchas de las necesidades y problemas en una planta surgen día a día sin tener algún conocimiento sobre los acontecimientos.

4 ESTADO DEL ARTE DE LOS AGV APLICADOS EN LA INDUSTRIA

Los AGV son robots diseñados para mover material y productos dentro de un espacio conectando diferentes recursos que pueden ser máquinas, estaciones de trabajo o almacenamiento de producto. Este tipo de tecnología se usa hoy en día principalmente en la industria y se tiene en cuenta por las compañías ya que es una herramienta que ayuda a ahorrar tiempo, energía y espacio en la logística empresarial.

Este tipo de robots como su nombre lo dice son automáticos y no necesita ningún tipo de operador aparte de la persona que los programa, son muy flexibles y tienen la ventaja de que pueden integrarse con otro tipo de robots o automatización dentro de la empresa para así mejorar las operaciones de la misma.

Wu, Chen y Ko (1998) indican que el interés en los tipos vehículos de guiado automático ha crecido gracias a la variedad industrial y las aplicaciones que estos presentan. Además en los últimos años los desarrollos en investigación para implementaciones de sistemas como estos ha aumentado llevando a mejorar cada vez más el desarrollo de la tecnología y los métodos de implementación.

Tsumura (1995) comenta que los AGV son los vehículos que se están usando hoy en día para mejorar la operación en diferentes industrias con automatización avanzada permitiendo mejorar el transporte de materiales entre diferentes estaciones de trabajo. Tsumura (1995) comenta que los diferentes transportes utilizados en las fábricas como grúas, vehículos guiados por rieles, plataformas y vehículos de levantamiento están siendo reemplazados por diferentes diseños de AGV's los cuales pueden ser diseñados para estas labores y la flexibilidad en los diseños ha hecho que los empresarios opten por este tipo de robots.

Aunque los AGV's se usan principalmente en empresas manufactureras, el desarrollo de esta tecnología ha llevado que los sistemas AGV penetren otros tipos de negocio aportando a las compañías a la mejora de su operación. Tsumura (1995) añade que en Japón nuevos desarrollos en aplicaciones de AGV han llevado este tipo de vehículos a oficinas, el sector público, estaciones de trenes, centros comerciales, puertos, restaurantes, hospitales, agricultura y construcción.

Según lo anterior se puede observar que los sistemas AGV pueden penetrar muchos ambientes de trabajo y mediante un buen diseño, este tipo de tecnología es flexible para poder integrarse en cualquier contexto laboral realizando diferentes tareas principalmente relacionadas con el transporte de materiales.

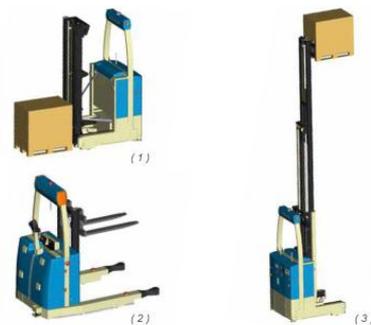
Para efectos del estudio se hará un breve resumen sobre el estado del arte de los AGV's aplicados en la industria y una explicación en profundidad sobre el sistema de guiado laser.

4.1 AGV'S APLICABLES A LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA

Aunque existen muchos tipos de AGV's y las empresas fabricantes los pueden diseñar y producir dependiendo de las necesidades específicas de cada cliente, existen algunos modelos que son los más populares y tienen más utilización en la industria. Estos se utilizan en diferentes tipos de industria y para transportar diferentes tipos de cargas y pesos. A continuación se muestran los robots más populares en la industria:

- **Vehículos de horquillas**

Ilustración 1. AGV de horquillas



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Los vehículos de horquillas son muy utilizados hoy en día gracias a su alta funcionalidad y aplicación en diferentes sistemas que requieran carga, descarga y transporte de materiales. Como se observa en la figura pueden tener diferentes diseños y funciones siempre teniendo como elemento principal las horquillas. Estas pueden ser horquillas fijas, múltiples o de apertura automática y pueden estar diseñadas de manera distinta para soportar diferentes cantidades de peso (hasta dos toneladas) y alcanzar diferentes alturas (hasta 9 m).

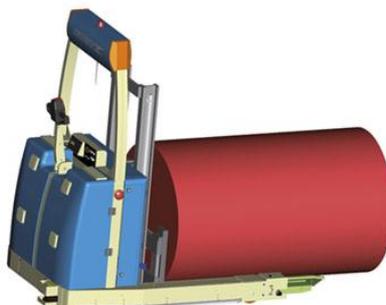
Tabla 1. Características de los vehículos de horquillas

	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	3400 mm	1400 mm

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

○ **Vehículos para Bobinas**

Ilustración 2. AGV de bobinas



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

Vehículos utilizados principalmente para el transporte de materias primas (bobinas) en industrias como la textil o papelera, necesitan de una buena capacidad de carga ya que normalmente las bobinas son de gran volumen y peso por lo que el AGV puede llegar a soportar hasta 2,5 toneladas y alzar el producto hasta 4 metros.

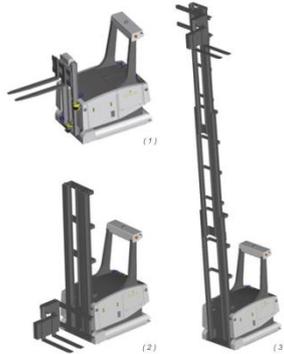
Tabla 2. Características de los vehículos de bobinas

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

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

- **Vehículos contrapesados**

Ilustración 3 . AGV contrapesados



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Este tipo de vehiculos son de la familia de los vehiculos de horquillas teniendo un funcionamiento igual y solo se diferencian ya que estos vehiculos estan hechos para trabajos mas dificiles como aumentar la elevacion del material hasta los 11 metros.

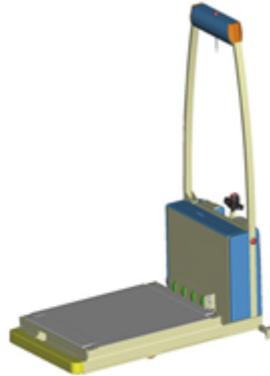
Tabla 3. Características de los vehículos contrapesados

	CARACTERISTICAS 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

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

- **Vehículos con plataforma**

Ilustración 4. AGV con plataformas



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Tipo de vehículo utilizado únicamente para el movimiento de cargas ras de suelo. Ideal para el transporte de cargas voluminosas y con un peso hasta de 10 toneladas de peso. Necesita un espacio de maniobra de 4 metros puede realizar sus transportes a una velocidad de 1,2 m/s.

Tabla 4. Características de los vehículos con plataforma

CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
Vehículos con plataforma	
Capacidad de carga	10000 Kg
Elevación máxima	120 mm
Velocidad	1,2 m/s
Espacio de maniobra	4800 mm

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

- **Vehículos con transportador**

Ilustración 5. AGV con transportador



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

Vehiculos utilizados principalmente para el transporte de palets. Ya que su plataforma cuenta con con transportadores como cadenas rodillos o cintas es un vehiculo que se puede integrar muy bien con sistemas de transporte de materiales como bandas transportadoras.

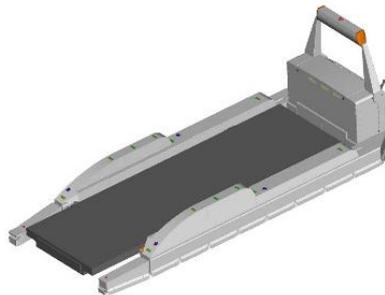
Tabla 5. Características de los vehículos con transportador

	CARACTERISTICAS PRINCIPALES		
	Transportador con cadenas	Transportador con rodillos	Transportador con cinta
Unidades transportadas	2	2	2
Capacidad de carga	3000 Kg	3000 Kg	3000 Kg
Velocidad	1,5 m/s	1,5 m/s	1,5 m/s

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

- **Vehículos para cargas pesadas**

Ilustración 6. AGV para cargas pesadas



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Como su nombre lo dice son vehículos utilizados para el transporte de cargas pesadas con capacidades mayores a las 15 toneladas. Su estructura puede ser superior a los 8 x 2 m y solo transporta cargas a ras de suelo y de un lugar a otro. La carga y descarga de material se tiene que hacer con otro sistema debido a los grandes pesos y a comparación de los vehículos mas pequeños este solo puede alcanzar velocidades de 0.7 m/s.

Tabla 6. Características de los vehículos para cargas pesadas

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

Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Los AGV's mostrados anteriormente son los más utilizados en la industria. Dependiendo de lo que cada empresa necesite se toma la decisión de adquirir uno u otro. Cabe resaltar que un diseño de un sistema AGV es complejo y se necesita de mucha información relevante sobre el contexto en el cual el robot va a interactuar. El tipo de diseño puede variar dependiendo de las especificaciones y requerimientos del cliente y así mismo esta variación se puede dar dependiendo del diseñador o fabricante de AGV's.

4.2 ANÁLISIS EN TENDENCIAS DE NAVEGACIÓN

El sistema de guiado como establecen Le – Anh y Koster (2003) es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al momento de diseñar un sistema AGV ya que es indispensable escoger el método correcto para el entorno en el cual se desea implementar un tipo de tecnología como esta. Según Le – Anh y Koster (2003) este aspecto es uno de los primeros a tener en cuenta en la implementación y para determinar cuál es la elección se deben tener en cuenta diferentes variables como las tareas que debe realizar el AGV, zonas de carga y descarga de materiales, las estaciones del sistema y en el caso de tener varios AGV es necesario establecer cuáles son los posibles puntos en donde se pueden llevar a cabo colisiones.

Aunque como dicen Le – Anh y Koster (2003) no existe un método preestablecido para realizar la elección de un método de sistema de guiado y en muchas ocasiones esta decisión depende la experiencia que se tenga por parte del diseñador, existen diferentes métodos los cuales se usan con éxito en las industrias. A continuación se definen algunos sistemas de guiado para sistemas AGV:

- **Sistema óptico de reconocimiento**

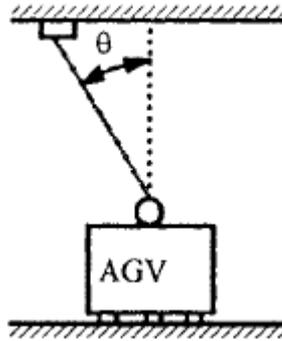
Tsumura (1995) comenta que existen varios sistemas para guiado óptico los cuales se han venido desarrollando y estudiando. Estos sistemas utilizan marcas en el entorno las cuales sirven a los vehículos como guía para poderse guiar a través del sistema. Entre los principales sistemas de guiado óptico mencionados por Tsumura están:

1. **El sistema de guiado con cubos**, en el cual se posicionan cubos en las esquinas superiores del techo (Como reflectores) son las guías las cuales usa el AGV para determinar su posición. La principal ubicación de los cubos es el techo y las esquinas pero los cubos como dice Tsumura pueden estar ubicados también a lo largo de toda la planta principalmente en el trayecto definido para el AGV. 4

Para un mejor funcionamiento, Tsumura (1995) comenta que se deben instalar de dos a tres cubos en las áreas destinadas y se debe utilizar un scanner laser rotatorio para que el AGV pueda identificar los cubos reflectores con facilidad en el recorrido.

La idea de que el sistema de guía este situado en el techo de la planta se basa en que es más fácil para el AGV encontrar los cubos ya que si estuvieran a ras de suelo podría haber interferencias con otros objetos.

Ilustración 7. Sistema de guiado por cubos



Fuente: Tomada de Automated guided vehicles in Japan

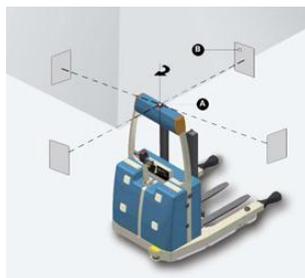
2. **Sistema guía por código de barras.** Este sistema funciona con códigos de barras posicionados a lo largo de la ruta del AGV. Para este sistema es necesario equipar al robot con una cámara de video que pueda detectar los códigos. El posicionamiento y el número de códigos de barras necesarios dependen del entorno y son calculados mediante un programa de computación.

- **Sistema de guiado láser**

Este tipo de sistema utiliza reflectores colocados en las paredes o diferentes objetos a lo largo del recorrido del robot para poder determinar su posición. Según Tsumura (2003) para que el sistema tenga un buen funcionamiento es necesario tener a lo largo del recorrido al menos tres reflectores en diferentes posiciones para que el AGV pueda seguir su curso. Tsumura (2003) comenta que el láser debe estar ubicado en la parte superior del vehículo y debe tener un encoder rotacional que le permita un giro de 180 grados para la identificación de los reflectores.

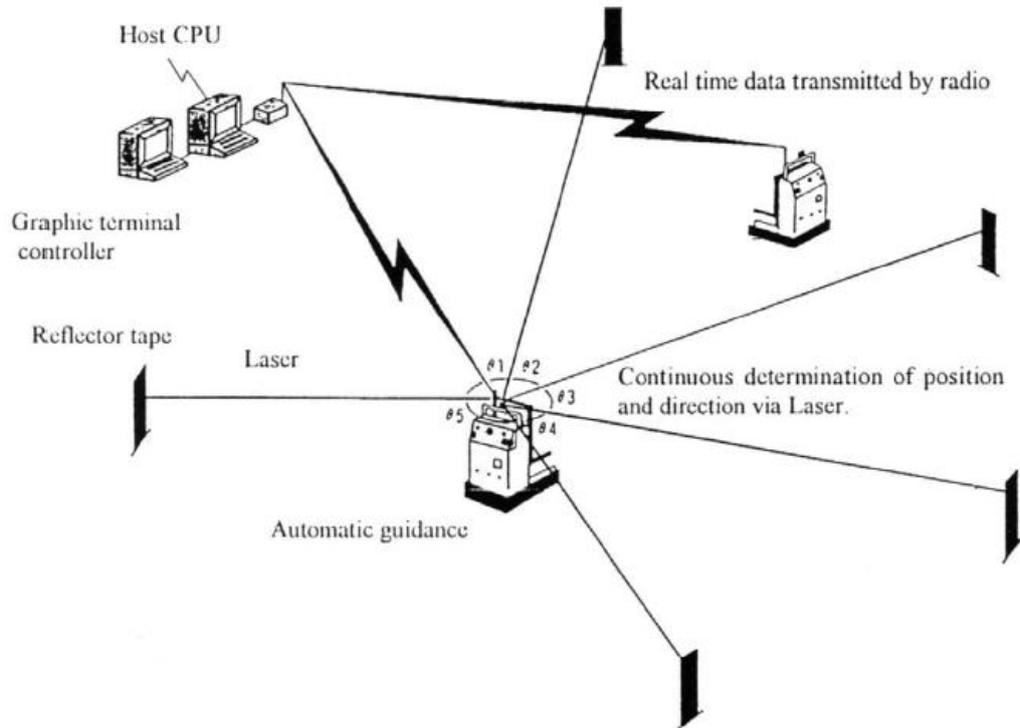
La ventaja de este tipo de sistema es que no tiene otros dispositivos que se tienen que adicionar como imanes, hilos o cintas. Este sistema es muy flexible ya que no se necesita de mucho trabajo para cambiar las trayectorias del AGV y funciona muy bien cuando un sistema tiene posibilidades de expansión.

Ilustración 8. Sistema de guiado laser



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Ilustración 9. Representación de un sistema de guiado por láser



Fuente: Tomada de Automated guided vehicles in Japan

- **Sistema con guiado por reflexión con cintas de colores o magnéticas**

El sistema de guiado por reflexión está basado en cintas de diferentes colores o magnéticas las cuales son posicionadas en la ruta del vehículo para que este pueda realizar las trayectorias deseadas y sirven principalmente para detectar la desviación del vehículo dependiendo de la trayectoria establecida.

Tsumura (1995) explica que el funcionamiento de este sistema se debe a la luz emitida por el AGV en su parte inferior reflejada por la cinta la cual está posicionada en su ruta. Este reflejo es captado por un foto sensor el cual gracias a su programación define la posición del robot. En el caso del guiado magnético, el funcionamiento es el mismo, lo único que cambia es que se debe utilizar un sensor magnético el cual define la posición del robot.

Este tipo de sistema según Tsumura (1995) es un sistema que puede permitir gran flexibilidad dependiendo del posicionamiento de las cintas, es una buena opción ya que su instalación es fácil y de bajo coste y por último es un sistema que es de fácil reconocimiento para las personas que interactúan con el sistema facilitando a estas el conocimiento de las rutas y así una posible colisión con los robots.

Ilustración 10. Sistema de guiado magnético

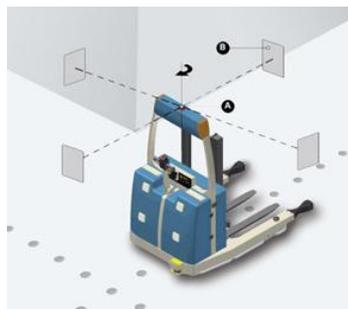


Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

- **Sistema Combinado**

Se utiliza cuando el vehículo necesita los dos sistemas para poderse mover. Dependiendo de la posición utiliza uno u otro sistema de navegación. En este sistema se tiene que tener en cuenta los costos de implementación y mantenimiento ya que el AGV requeriría los elementos necesarios para los dos sistemas de guiado.

Ilustración 11. Sistema de guiado combinado



Fuente: Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

5 ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DEL CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL (CTAI)

El CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL (CTAI) de la Pontificia Universidad Javeriana es un espacio orientado a la prestación de servicios para dar respuesta a las necesidades de automatización de procesos del sector productivo, investigación, innovación y desarrollo del país y de formación académica de los estudiantes de diferentes programas académicos¹⁵. En este espacio se desarrollan diferentes actividades académicas como lo son clases teóricas y laboratorios prácticos donde los estudiantes pueden desarrollar sus conocimientos de ambas maneras. El CTAI se orienta principalmente al área de tecnología la cuál involucra especialmente los aspectos de ingeniería como es la producción, manufactura y logística contando con herramientas como la neumática, la hidráulica, ERP y una celda integrada de manufactura.

El sistema de manufactura flexible o Celda Integrada de manufactura del laboratorio CTAI, está compuesto por 4 estaciones principales las cuales están siempre en funcionamiento y son el almacén, la banda transportadora, el robot Melfa y el torno CNC. Adicionalmente, el centro cuenta con otras estaciones que son, una fresadora industrial la cual está fuera del sistema por el momento, una estación de calidad, un sistema de producción modular o MPS y un centro de mecanizado. Este sistema trabaja normalmente independiente al FMS (Sistema de manufactura flexible).

5.1 ANÁLISIS DOFA DEL CTAI COMO CENTRO TECNOLÓGICO

El análisis DOFA es una serie de confrontación entre factores externos e internos que permiten generar alternativas, para luego generar estrategias y por ultimo tomar decisiones en cualquier tipo de grupo u organización. Los encabezados de la matriz son FORTALEZAS, DEBILIDADES, OPORTUNIDADES y AMENZAS¹⁶. En el caso del CTAI este análisis se usara para buscar cuales son las debilidades importantes del centro y en donde se piense que pueda haber necesidades para la implementación de un AGV.

Teniendo en cuenta el análisis DOFA elaborado por el grupo de estudio de proyección del CTAI se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación:

FORTALEZAS

- Experiencia en prestación de servicios
- Recurso humano – formación
- Recursos para la prestación de los servicios académicos.
- Infraestructura moderna.
- Certificación ISO 9001:2008.

¹⁵ Tomado de <http://puj-portal.javeriana.edu.co>

¹⁶ Definición tomada de gerencia y negocios en Hispanoamérica. Disponible en www.gerencia.com

- Excelentes relaciones con empresas proveedoras de servicios tecnológicos.

DEBILIDADES

- Número de cursos del área de profundización.
- Número de profesionales.
- Falta de más espacio a corto plazo.
- La poca aplicación de las herramientas con que cuenta el CTAI en proyectos de investigación a nivel de posgrado (Maestría y Doctorado).
- Baja capacidad del tamaño de las salas.
- No se ha dado a conocer al mercado empresarial los servicios asociados al CTAI.

AMENAZAS

- Otros laboratorios¹⁷.
- Deterioro de algunas herramientas – Tecnología.
- Nuevos programas y laboratorios a nivel país/Latinoamérica.
- Poco conocimiento de las herramientas existentes y capacidad tecnológica y técnica por parte de todos los docentes de la facultad – Transporte de materias primas.

OPORTUNIDADES

- Cursos de postgrado y educación continuada.
- Diseño de equipo de laboratorio.
- Relaciones internacionales.
- Apoyo en diseño y manufactura.
- Alto grado de interés en los servicios académicos del CTAI.

Como se puede observar, este análisis de expertos arroja información sobre los diferentes aspectos que se encuentran en el CTAI. Como beneficio, es una ventaja contar con este sistema ya que como resultado se obtuvo que los usuarios cuenten con un servicio de alta tecnología y con excelentes profesionales para una formación exitosa como ingeniero, actualizada y diferenciada de la competencia.

Al mismo tiempo se cuenta con unas debilidades y amenazas que arrojan diferentes necesidades las cuales pueden ser tomadas en cuenta para futuras mejoras en el centro.

¹⁷ Las universidades Nacional, Militar y la Universidad autónoma de Bucaramanga son ejemplos de laboratorios de automatización en el país.

- **Falta de más espacio a corto plazo:** Esta debilidad debe ser tenida en cuenta ya que el espacio es un factor importante a la hora de determinar nuevas implementaciones en tecnología. Ya que en este momento es imposible pensar en un aumento en el espacio, posibles implementaciones futuras de maquinaria o tecnología deben acoplarse a los requerimientos de espacio del laboratorio.
- **Poca aplicación de las herramientas en proyectos de investigación:** Es importante que se tenga en cuenta que un tipo de laboratorio como este no solo se debe usar para fines académicos en carreras de pregrado. Los posgrados como maestrías, especialización y doctorados deben estar involucrados en el laboratorio realizando proyectos de investigación más profundos que los que se realizan en las carreras de pregrado y que tengan aplicabilidad en algún tipo de negocio o industria. Para el caso del AGV esto puede ser muy provechoso ya que este le daría un eslabón más al FMS y aumentar las posibilidades de futuras y distintas investigaciones.
- **Dar a conocer al mercado empresarial los servicios asociados al CTAI:** Es importante que se valore la tecnología y las herramientas con las que se cuentan en el CTAI y que se les de uso de diferentes formas como asesorías a empresas que busquen tipos de tecnologías con las que se cuentan. Un AGV al ser un tipo de herramienta que se está empezando a usar constantemente en la industria podría ser de gran ayuda para el CTAI para darse a conocer y poder prestar sus servicios. Los ejemplos más claros que se pueden mencionar sobre implementaciones de AGV en Colombia que funcionan a la perfección son el Banco de la Republica y el Éxito en sus centros de distribución.
- **Otros laboratorios en surgimiento:** Esta amenaza da la necesidad al CTAI de mantenerse a la vanguardia en diferentes tipos de herramientas o tecnologías que le permitan seguir sobresaliendo sobre los diferentes laboratorios similares a este. Ser el mejor y el más reconocido solo se logra teniendo la mejor tecnología disponible. El AGV le daría un elemento diferenciador al CTAI en este aspecto y aumentaría su portafolio de herramientas con las que cuenta.

5.2 ANÁLISIS DOFA DEL FMS (SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE)

Este análisis DOFA se realizó con respecto al FMS y su situación actual. La metodología utilizada para realizar este análisis se basó en la observación de todo FMS, sus herramientas, su funcionamiento, los productos que se pueden realizar, sus usuarios, tipos de software y espacio. Luego se desarrolló el análisis DOFA de la siguiente manera. Primero se observaron todas las estaciones de trabajo con las que se cuentan, luego se observaron en funcionamiento, luego se observó que productos se pueden producir y por último cómo interactúan los usuarios con el sistema para así determinar cuáles eran las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas del FMS.

FORTALEZAS

- FMS compuesto por tecnología avanzada tanto en herramientas físicas como software.
- Diferenciación entre la competencia. (Otros laboratorios).
- Experiencia real para los estudiantes en automatización.
- Gran variedad de actividades y prácticas para los estudiantes.
- Prácticas libres.
- Conocimientos adquiridos para un futuro desarrollo como profesionales para los estudiantes.

DEBILIDADES

- Exceso de interacción humana en los procesos de transporte de materiales en el FMS lo cual aumenta los errores y le quita agilidad al proceso.
- Falta de integración entre todas las estaciones del FMS.
- Falta de un sistema de transporte para integrar las diferentes estaciones del FMS y para el transporte de materia prima.
- Poco espacio para nuevas posibles implementaciones.

AMENAZAS

- Avance rápido de la tecnología, implica cambios e inversiones frecuentes en las herramientas.
- Posibles implementaciones de laboratorios de automatización en otras universidades.
- Falta de conocimiento y uso de las herramientas del FMS.

OPORTUNIDADES

- Posibles implementaciones a futuro de nuevas tecnologías en el FMS.
- Más experiencia en automatización.
- Mayor interés en el énfasis de tecnología por parte de los estudiantes.

Como resultado en este análisis del FMS se obtuvo resultados positivos ya que el FMS cuenta con alta tecnología y materias las cuales ayudan para el desarrollo del conocimiento y la experiencia del estudiante. Además el CTAI ofrece un valor agregado que es la aplicación de prácticas y actividades en un sistema automatizado.

Las necesidades principales encontradas para el FMS fueron las siguientes:

- **Exceso de interacción humana en los procesos, falta de integración entre las estaciones y falta de un sistema de transporte:** Principalmente en la estación de las MPS. Esta estación hace parte del FMS pero no se conecta con ninguna otra estación del sistema y tiene que ser operada aparte. Además no tiene ningún tipo de automatización en el proceso de llenado ya que las botellas se tienen que llevar manualmente a esta área y así mismo se tienen

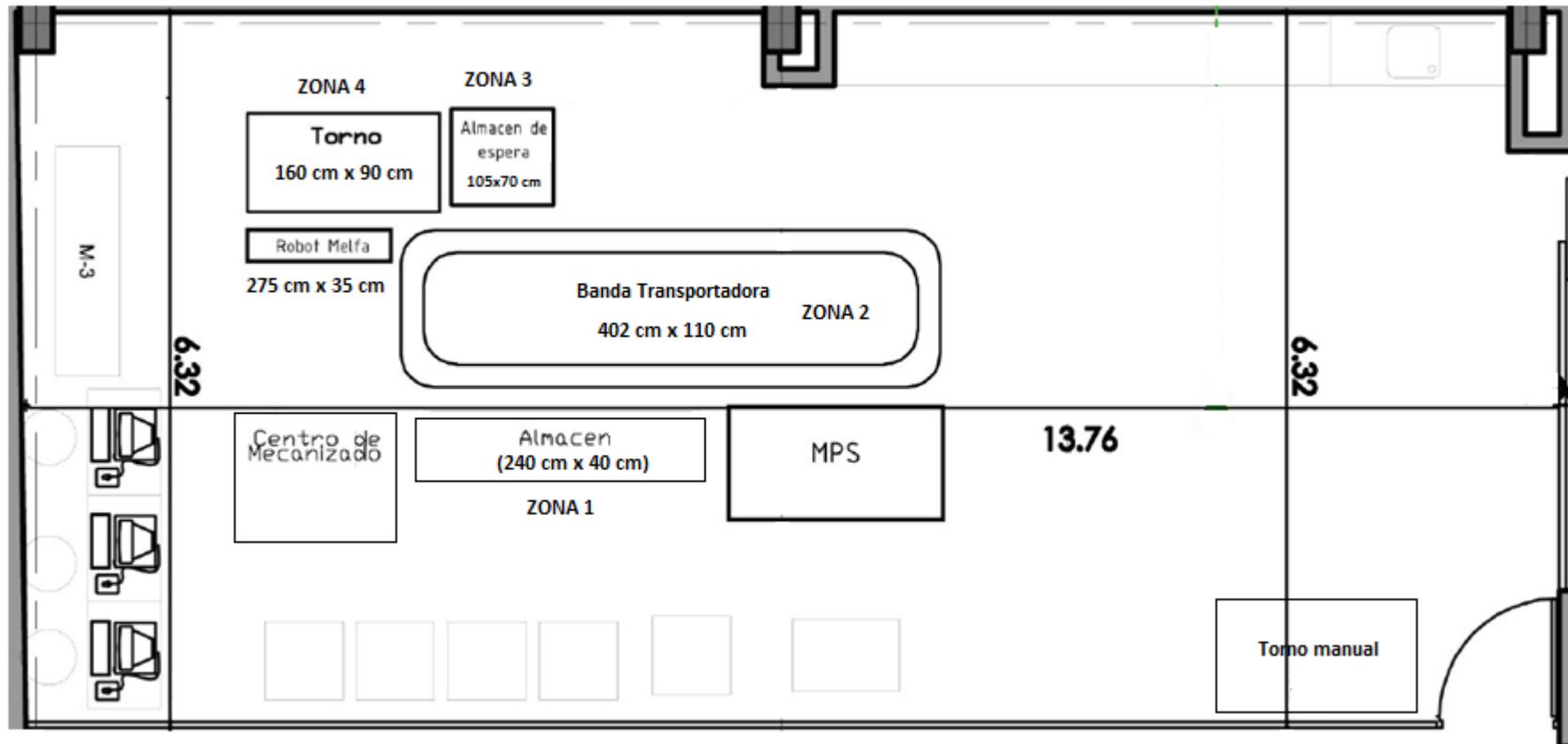
que recoger manualmente luego de ser llenadas. Si lo que se pretende es automatizar todo el sistema de manufactura, es indispensable poder integrar esta estación con el resto del sistema y poder hacer prácticas de laboratorio contando con una integración total del sistema. La principal necesidad para solucionar estos problemas es un sistema de transporte que le permita al sistema no depender de la banda transportadora para esta labor sino que este pueda moverse por todo el FMS de una manera flexible y realizando diferentes operaciones.

Las oportunidades que se hallaron deben ser estudiadas detalladamente ya que son oportunidades que le podrían brindar mucho potencial al CTAI, las implementaciones de nuevas tecnologías a futuro pueden hacer al centro más reconocido y mucho más flexible al momento de realizar diferentes actividades. La adquisición de más experiencia le brindaría al centro más credibilidad y por último el hecho de que más estudiantes se decidan por el énfasis de tecnología podría ser una buena forma de que más estudiantes sepan que es el CTAI, a que se enfoca y para qué sirve.

5.3 PLANOS ACTUALES DEL CTAI

A continuación se muestran los planos actuales del FMS (Sistema de Manufactura Flexible) del CTAI donde se puede observar la distribución actual de todas sus estaciones de trabajo y las áreas correspondientes de cada estación. Los planos serán la base para la elaboración de los diagramas de recorrido los cuales muestran la trayectoria de las materias primas procesadas en el FMS.

Ilustración 12. Planos actuales de la distribución del FMS



Realizado por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

En el plano previamente mostrado se puede observar las estaciones del FMS del CTAI. La banda transportadora, las MPS, el almacén, el centro de mecanizado, el robot melfa y el torno CNC son las estaciones con las que cuenta el FMS actualmente.

La primera área es la de almacenamiento (240cm x 65cm) la cuenta con un rack de cinco (5) niveles y en el que cada nivel contiene ocho (8) pallets para un total de cuarenta (40) pallets en el rack. La carga y descarga de este almacenamiento se realiza a través de un robot cartesiano con uñas para pallets. Este robot se encarga de posicionar el pallet en la banda transportadora (402cm x 110cm) para ser transportada a la zona en la cual se verifica el producto (105cm x 70cm). El movimiento de la materia prima en esta parte del proceso lo hace el robot MELFA (275cm x 35 cm) el cual realiza la carga y descarga de este material en esta zona y al mismo tiempo es el encargado de llevar la materia prima al torno (160cm x 90cm). Luego el robot lleva de nuevo la materia prima a la banda transportadora y esta vuelve al almacén.

Esta parte del FMS es la que funciona completamente automatizada y como se puede observar cuenta con el almacén, la banda transportadora, el robot melfa, una zona de espera y el torno CNC.

La MPS es otra estación del sistema la cual no está integrada con las otras estaciones. Esta estación cuenta con 4 zonas principales que son el filtrado, la mezcla, el reactor y la zona de llenado.

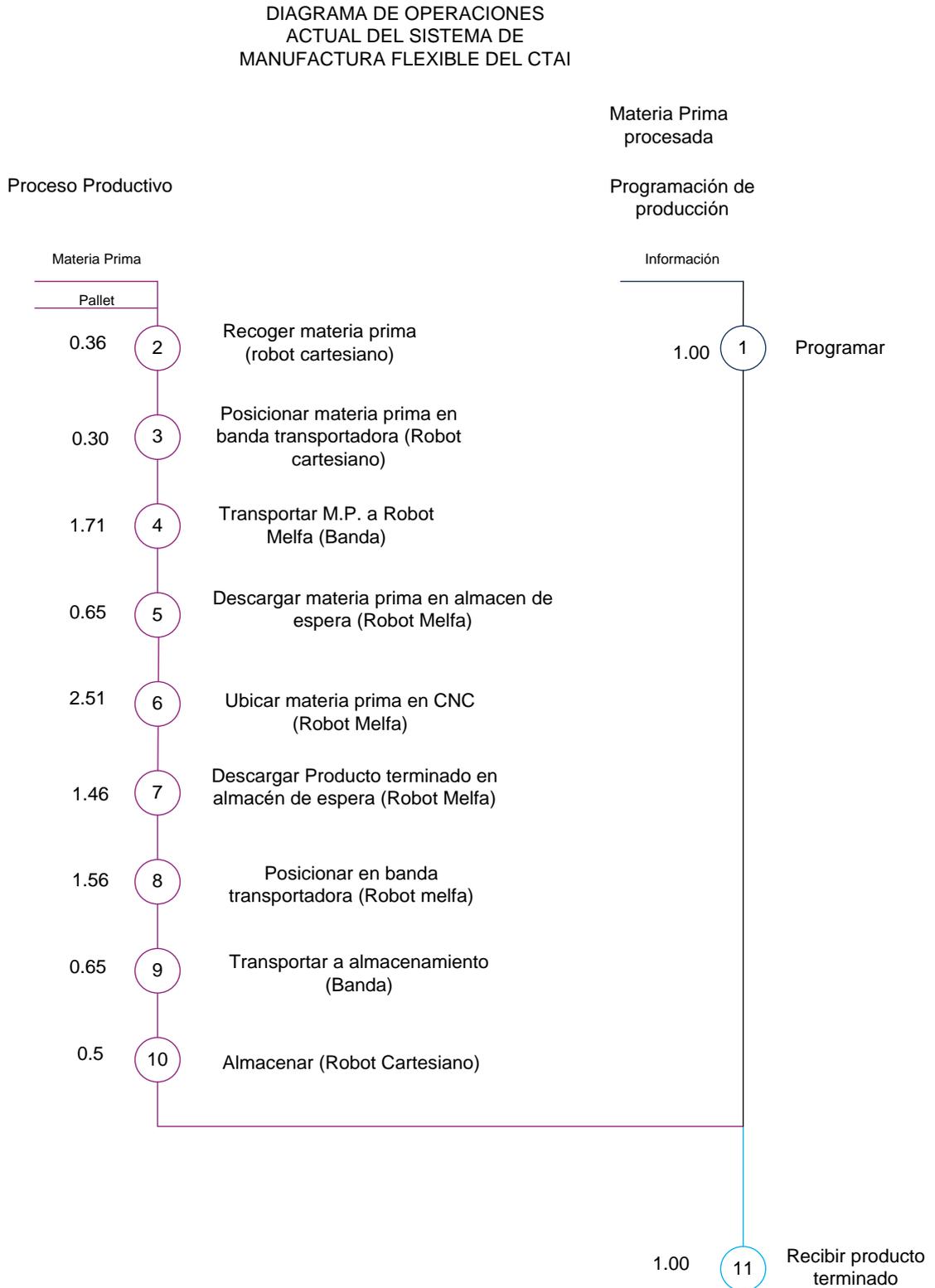
5.4 DIAGRAMAS DE OPERACIONES ACTUALES

Este diagrama fue escogido y utilizado para realizar una representación gráfica de las diferentes operaciones del proceso con el fin de analizar si se pueden eliminar operaciones innecesarias o tal vez unir actividades que se estén desarrollando actualmente dentro del laboratorio que se puedan modificar para determinar nuevos y mejores procedimientos dentro del proceso¹⁸.

Para la realización de los diagramas actuales se hizo un estudio de las operaciones del sistema teniendo en cuenta la información y la materia prima utilizadas en cada proceso. Se hicieron dos diagramas, uno para las MPS y otro para el resto del sistema ya que es lo que se pretende integrar.

¹⁸ Niebel, B. (2009). Metodos, estándares y diseño del trabajo. Capítulo 2, pg 25

Ilustración 13. Diagrama de operaciones actual del FMS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

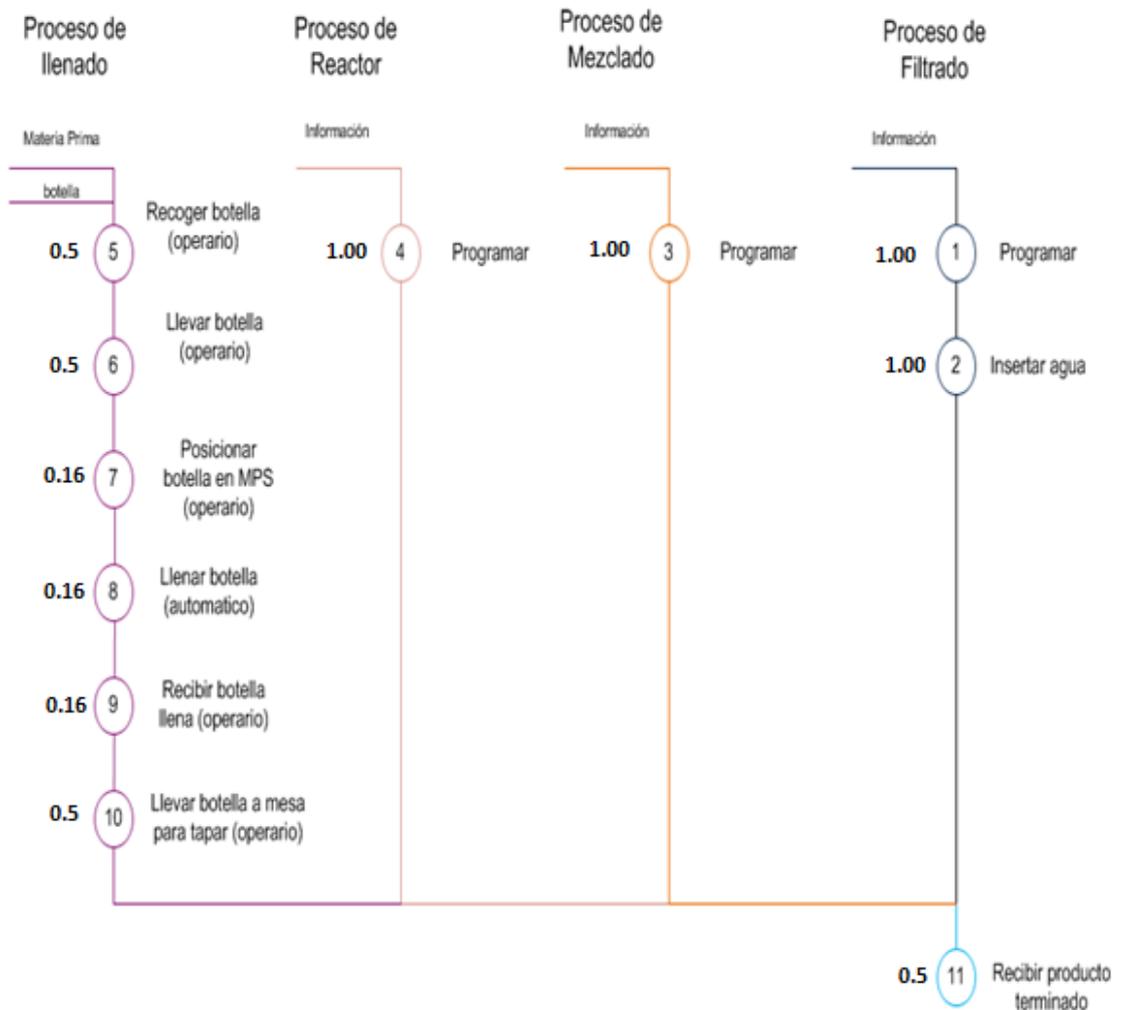
5.4.1 Descripción del diagrama del FMS

Hay que tener en cuenta que el FMS puede funcionar a diferentes tiempos dependiendo de las velocidades que se les pongan al torno y al robot Melfa. Para este diagrama de operaciones la velocidad tomada fue del 50% velocidad que se programa en los comandos del robot y del torno. Se tomó esta velocidad ya que por cuestiones de seguridad no es recomendado que los usuarios del CTAI programen velocidades más altas en las herramientas para evitar colisiones y daños en la maquinaria.

Inicialmente el proceso requiere una programación del sistema de manufactura la cual contiene la cantidad de piezas que se van a producir, tipo de material y el programa del torno que se desea. Luego de haber sido programado, se da inicio al proceso con el robot cartesiano el cual realiza la carga y descarga de la materia prima desde el almacén a la banda transportadora. La materia prima que está posicionada en un pallet es llevada a lo largo de la banda transportadora hasta la estación del robot Melfa. En esta estación el robot Melfa recoge el pallet y lo ubica en la zona de espera para luego tomar la materia prima con sus mordazas y posicionarla en el torno CNC y ser transformada con los requerimientos deseados. Al terminar, el robot Melfa toma el producto terminado y lo ubica en la zona de espera en su respectivo pallet para así volverlo a ubicar en la banda transportadora y ser almacenado.

Este diagrama de operaciones se puede observar que está compuesto por 11 operaciones para la producción de cualquier producto programado. Es importante resaltar que no cuenta con una operación de calidad en la cual se pueda verificar que el producto cumpla con la calidad necesitada entendiendo esta como una materia prima sin defectos que pueda ser procesada en el torno y el producto terminado sea el ideal. Es indispensable que la operación de control de calidad aparezca en estos diagramas ya que en cualquier proceso de manufactura debe existir una operación que regule las piezas que van a ser procesadas.

Ilustración 14. Diagrama de operaciones de las MPS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

5.4.2 Descripción del diagrama MPS (Sistema de producción modular)

Este sistema requiere una programación secuencial de 4 estaciones las cuales son: filtrado, mezcla, reactor y embotellado. Luego de ser programado el operario se encarga de insertar la materia prima en este caso siendo el agua en la primera estación. Luego de ser filtrada el agua pasa a la segunda y tercera estación por medio de mangueras hasta llegar a la estación de embotellado la cual consiste de la interacción de un operario el cual se encarga de ubicar la botella en la banda transportadora de la MPS y ser llenada. El operario recibe la botella llena, la sella y la ubica nuevamente en el almacenamiento de producto terminado. Es importante resaltar que el MPS no tiene ningún tipo de interacción con el FMS.

En este diagrama se puede observar la falta de automatización que se tiene en esta estación. La interacción humana en el proceso de llenado es evidente teniendo que realizar todo el transporte, la carga y la descarga de material una persona. Es en el punto de llenado donde una automatización con un sistema de transporte de materiales podría funcionar para automatizar por completo esta estación y al mismo tiempo integrarla con el resto del sistema. Además tampoco se cuenta con una estación de calidad que permita revisar las botellas que llegan a la zona de llenado.

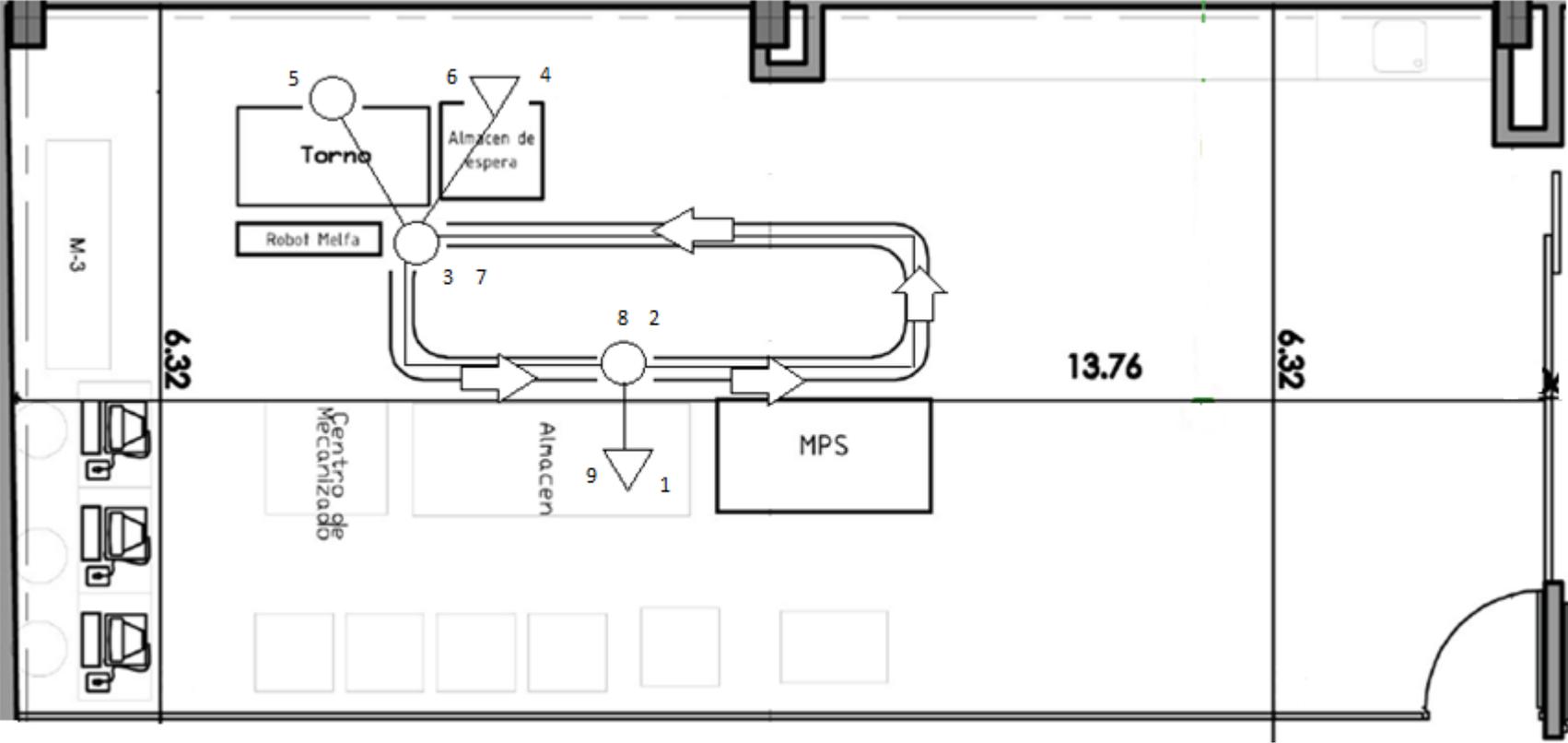
5.5 DIAGRAMAS DE RECORRIDO ACTUALES

El diagrama de recorrido proporciona la mayor parte de la información pertinente relacionada con un proceso de manufactura. Aunque no muestra detalladamente las operaciones realizadas, esta información es útil para desarrollar nuevos métodos como reducir transportes, determinar espacios, determinar nuevos almacenajes y puntos de inspección.

Para la realización de los diagramas de recorrido del CTAI fue necesario determinar los tamaños de las áreas y los pasillos para poder analizar el área con la que se cuenta y sobre la que hay que trabajar. Para analizar mejor el diagrama se deben seguir los números y hay que tener en cuenta que los triángulos significan un almacenamiento, los círculos una operación y los cuadrados una operación inspección.

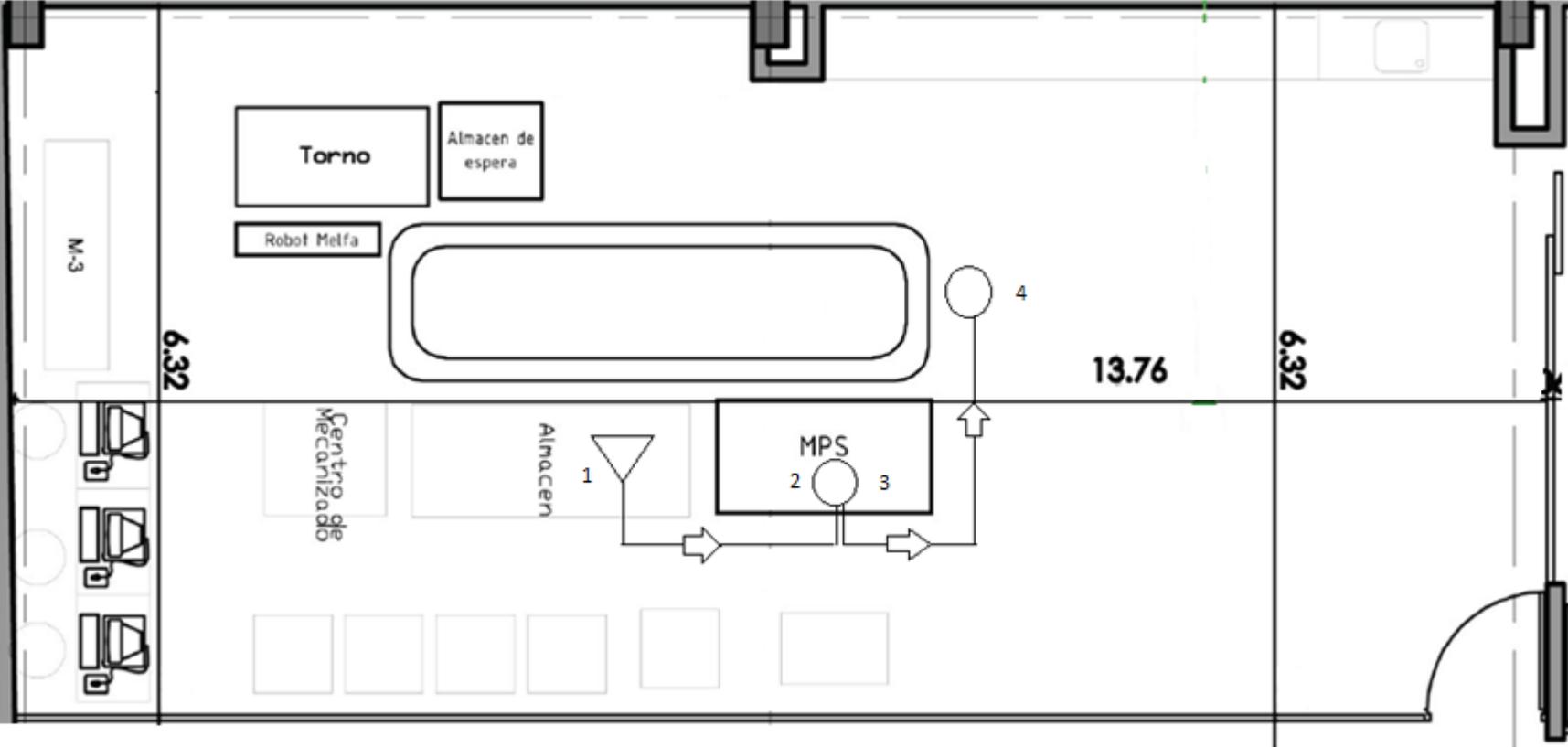
A continuación se puede observar la trayectoria de la materia prima a lo largo de la cadena de producción del CTAI tanto en las MPS como en el resto del sistema.

Ilustración 15. Diagrama de recorrido actual –FMS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Ilustración 16. Diagrama de recorrido actual - MPS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

En los diagramas de recorrido anteriores se puede observar el trayecto que la materia prima recorre tanto por las MPS como por el resto del sistema de manufactura flexible. Se puede observar que las MPS están muy cerca del resto del sistema y comparten el mismo espacio físico por lo que es posible una integración de estas al resto de las estaciones para que funcionen como un todo. Esta integración se podría dar con un sistema de transporte de materiales ya que las MPS no cuentan con ninguno y es imposible en la situación actual del CTAI poder conectar esta estación con la banda transportadora o el robot Melfa.

5.6 NECESIDADES ENCONTRADAS EN EL CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL Y SU FMS

Según las herramientas anteriormente realizadas se pueden tomar algunas necesidades con las que cuenta el CTAI actualmente. Las principales necesidades del CTAI como centro tecnológico y de su FMS (sistema de manufactura flexible) son:

Necesidades del CTAI

- Más aplicación de las herramientas en proyectos de investigación en posgrados como maestrías, doctorados o especializaciones.
- Que el mercado empresarial conozca los servicios del CTAI.
- Estar a la vanguardia sobre otros laboratorios similares como los que se encuentran en la Universidad Nacional, El Sena, La Universidad de la Salle y La Universidad Militar.

Necesidades del FMS

- Reducir la interacción humana en los procesos de transporte de materiales.
- Integrar al FMS y ponerlo a funcionar como un todo.
- Implementación de un sistema de transporte que permita la integración del FMS.
- Agregar una estación de calidad tanto para la estación de MPS como para las piezas que van al torno.

Según Ben – Daya (1995) en su artículo basado en las necesidades de un FMS a corto plazo hay diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de analizar un sistema de manufactura flexible para poder definir cuáles son las posibles mejoras. Ben – Daya (1995) afirma que los aspectos relevantes que se deben someter a observación en un

tipo de sistema como este son el diseño, la planificación y el control del sistema. Según las necesidades encontradas estas se pueden clasificar dentro de los aspectos que Ben – Daya menciona ya que estas se encuentran contenidas dentro de los aspectos relevantes mencionados anteriormente.

La reducción de la interacción humana en sistemas de transporte de materiales es una necesidad que hace referencia al control del sistema ya que es en este aspecto donde se tratan los problemas con manejo de materiales, mantenimiento y recolección de datos del sistema.

La integración del FMS hace referencia a la planeación de la organización del sistema donde se explica menciona que el agrupamiento de las máquinas y equipos del FMS se debe realizar de una manera efectiva y automatizada que permita flexibilizar al sistema.

La implementación de un sistema de transporte entra en el aspecto de control donde se habla del manejo de materiales, y por último la estación de calidad que se puede considerar dentro del aspecto del diseño del sistema donde se tiene en cuenta la distribución de todos los recursos.

Teniendo en cuenta las necesidades y conociendo los aspectos más relevantes de un FMS donde se pueden encontrar problemas se puede concluir que las necesidades encontradas en el FMS si se pueden considerar como unas opciones validadas de mejoramiento. La idea principal es poder encontrar una sola solución que permita mejoras en todos los aspectos seleccionados.

La mejora de implementación sugerida en este caso sería un sistema de transporte de materiales diferente a la banda transportadora que aporte a la flexibilidad del sistema mejorando los aspectos anteriormente mencionados. Ya que el sistema que se pretende mejorar es un FMS el cual según Baya (1995) es un sistema controlado por computador las opciones a tener en cuenta deben ser opciones de transporte de materiales automatizados los cuales permitan integrarse y controlarse de manera remota mediante un computador.

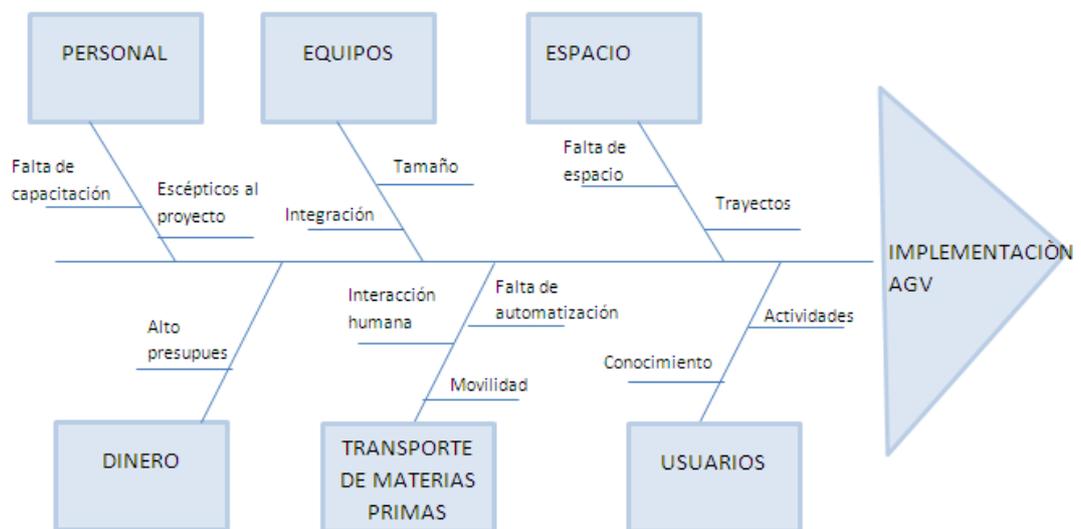
Existen diferentes opciones como bandas transportadoras, vehículos guiados por rieles o vehículos de guiado automático. Una banda transportadora no sería una opción a tener en cuenta ya que en el momento se cuenta con una y el espacio de trabajo requerido es grande lo cual no permitiría la integración de un sistema como estos al laboratorio. Los vehículos guiados por rieles son vehículos poco flexibles que solo pueden seguir unas trayectorias determinadas y su implementación es costosa y requiere una adaptación del sistema considerable. Por último se tienen los vehículos AGV que son sistemas automatizados que pueden seguir diferentes trayectorias, son muy flexibles a la hora de su funcionamiento y la gran cantidad de posibles diseños hacen que estos sean una gran opción de implementación para el CTAI.

5.7 ESPINA DE PESCADO

El diagrama de pescado o también llamado el diagrama de causa y efecto como lo dice Niebel (2009) consiste en definir la ocurrencia de un efecto (la cabeza del pescado) y después definir los factores que afectan su conformación (causas). La idea es definir bien los factores para poderlos analizar de manera crítica y así determinar su contribución al problema, necesidades o alternativas.

La metodología para la realización de este análisis se basó en las herramientas aplicadas anteriormente donde se pudo determinar que el CTAI necesita una integración de su FMS mediante una herramienta de transporte de materiales. Esta herramienta se determinó como un AGV que le permitiría suplir las necesidades del centro a corto plazo.

Ilustración 17. Espina de pescado



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Análisis

En el caso del laboratorio CTAI el efecto al que se pretende llegar es la implementación futura de un AGV evaluando detenidamente las causas que consideramos relevantes. Las principales fueron las siguientes:

5.7.1 Personal

Falta de capacitación: Actualmente todo el personal cuenta con el conocimiento de que es un AGV y para que se utiliza pero a la hora de realizar esta implementación

tendría como requisito una capacitación del manejo de este robot para evitar posibles daños o fallas en el sistema y en la enseñanza.

5.7.2 Espacio

Falta de espacio: Según los planos y la distribución que se observa en el FMS los espacios son reducidos para el funcionamiento del robot

5.7.3 Dinero

Alto presupuesto: La implementación de un tipo de tecnología como un AGV necesita de altas inversiones para comprarlo y al mismo tiempo hacer las modificaciones necesarias en el laboratorio para poder articular el robot al sistema.

5.7.4 Transporte de material

Falta de automatización y transporte: No todos los procesos en el laboratorio son automatizados principalmente los que incluyen transporte de materias primas y esto requiere de interacción humana en exceso.

Movilidad: Existen distancias en las cuales no funciona el robot MELFA ni la banda transportadora ya que son más retirados y se requiere de un sistema de transporte adicional con nuevas trayectorias.

5.7.5 Usuarios

Conocimiento: Se debe dar a conocer a los estudiantes y usuarios del CTAI que es una tecnología AGV y todos sus componentes para que se familiaricen con la teoría y poder realizar actividades prácticas.

Actividades: Falta de prácticas como simulación de procesos de manufactura, para operaciones logísticas, sistemas de transporte automatizado, transporte de materias primas, integración de las MPS con el CIM, programación de tareas integradas al CIM y programación de rutinas.

5.7.6 Equipo

Tamaño: El AGV debe tener las dimensiones apropiadas que le permitan integrarse al sistema. Para esto se debe tener en cuenta con que espacios se cuenta actualmente y así realizar la caracterización adecuada de este.

Integración: Para poder integrar un AGV a un sistema se deben tener en cuenta varias características principales como las funciones que este va a realizar, las estaciones con las que va a interactuar, el sistema de programación que se va a utilizar, el sistema de guía que se pretende implementar y los requerimientos que este debería tener para poderse integrar al sistema.

5.8 ENCUESTAS

Ya que la idea de este trabajo es la caracterización de un vehículo guiado automáticamente para el CTAI, se decidió realizar una encuesta dentro del centro tecnológico a las personas que trabajan en él. El propósito de la encuesta no es realizar una investigación de mercados en donde se obtengan resultados sobre el conocimiento u opiniones acerca del vehículo sino obtener información de primera mano de las personas involucradas en el CTAI acerca de diferentes aspectos de los vehículos guiados automáticamente. Cabe resaltar que para la continuación del proyecto es necesaria una investigación más profunda basada en encuestas teniendo en cuenta el concepto de los usuarios del CTAI que son los estudiantes. La encuesta propuesta estará basada en la cantidad de estudiantes promedio que estudian actualmente en el CTAI y se hará su respectivo cálculo de muestra para una mayor confiabilidad. . En Anexo 1 se muestra la encuesta realizada y en sugerencias se encuentra la encuesta propuesta.

Según las respuestas los resultados son los siguientes:

5.8.1 ¿Sabe usted que es un vehículo guiado automáticamente AGV? SI_ NO_

Gráfica 1. Resultado encuesta pregunta 1



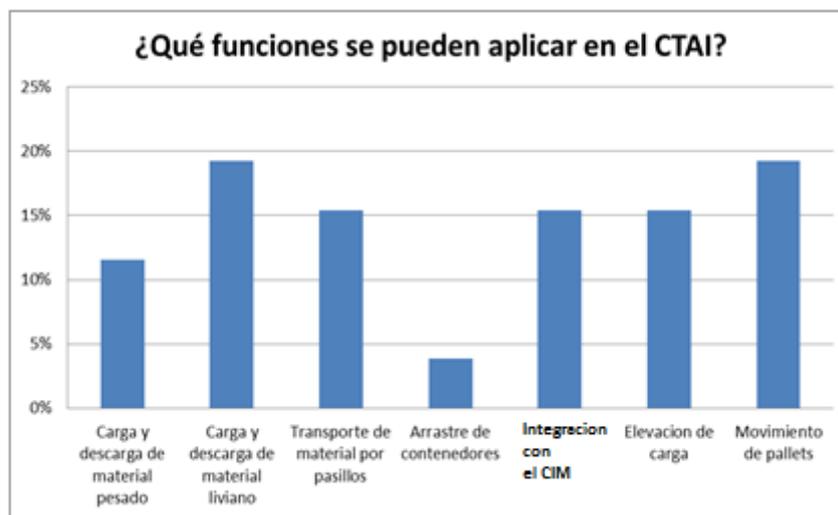
Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Según la primera pregunta realizada se puede observar que el 100% de las personas encuestadas en el CTAI saben y conocen lo que es un AGV. Esto es bueno ya que la implementación de un tipo de tecnología como esta no sería algo completamente nuevo para el personal del laboratorio.

5.8.2 ¿De las funciones listadas del AGV, Cual cree usted que se pueden aplicar al CTAI?

- _ Carga y descarga de material pesado
- _ Carga y descarga de material liviano
- _ Transporte de material por pasillos
- _ Arrastre de contenedores
- _ Integración con el sistema integrado de manufactura flexible
- _ Elevación de carga
- _ Movimiento de pallets

Gráfica 2. Resultado pregunta 2 Encuesta



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

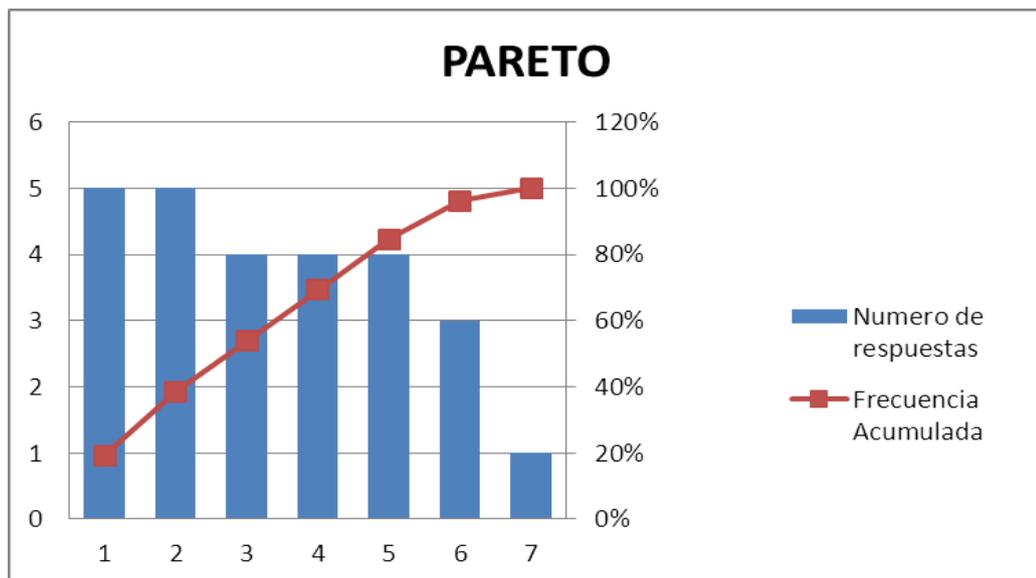
Con respecto a la funciones que se pueden aplicar con el AGV en el CTAI se puede observar que se escogieron diferentes funciones que se pensaron podían servir para el centro. Por medio de un diagrama de Pareto se escogieron las funciones que por los usuarios más frecuentes eran las más aptas para una posible implementación. A continuación se muestra el diagrama de Pareto realizado:

Tabla 7. Pareto

Funciones de un AGV	Numero de respuestas	Frecuencia relativa	Frecuencia Acumulada
Carga y descarga de material liviano	5	19%	19%
Movimiento de pallets	5	19%	38%
Transporte de material por pasillos	4	15%	54%
Integracion con el SIM	4	15%	69%
Elevacion de carga	4	15%	85%
Carga y descarga de material pesado	3	12%	96%
Arrastre de contenedores	1	4%	100%
Total	26		

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Gráfica 3. Resultado Pareto

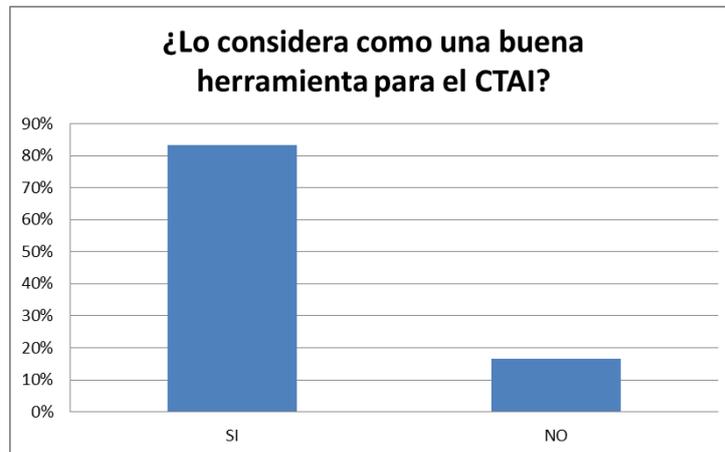


Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Como se puede observar, las funciones de un AGV que más se adaptarían a las necesidades del CTAI (Según las personas que trabajan en el laboratorio) y teniendo en cuenta la definición de Pareto de 80-20 son; Carga y descarga de material liviano, Movimiento de Pallets, Transporte de material por pasillos, Integración de las MPS con el resto del sistema y elevación de carga. Todas estas funciones son opciones que se adaptarían muy bien al sistema integrado de manufactura y ayudarían en gran manera a mejorar la automatización y la flexibilidad del laboratorio.

5.8.3 ¿Teniendo en cuenta las funciones anteriores del AGV, lo considera como una buena herramienta para el CTAI? SI_ NO_

Gráfica 4. Resultado pregunta 3

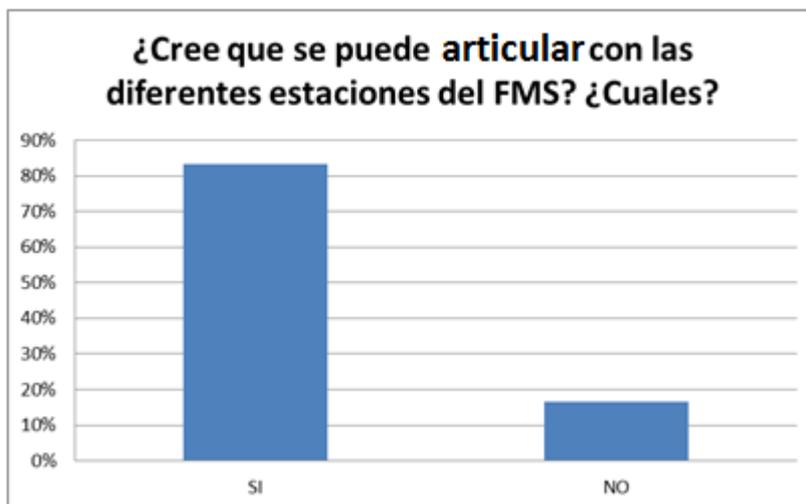


Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Como se puede observar más del 80% de las personas respondieron con un si afirmando que un AGV es una buena herramienta para el CTAI y corrobora lo que se viene tratando anteriormente cuando se dice que es necesario actualizar el centro con nuevas tecnologías que estén a la vanguardia de las herramientas que van saliendo en el mundo entero.

5.8.4 ¿Cree usted que el AGV se puede integrar con las diferentes estaciones del CTAI? SI_ NO_ ¿Cuáles?

Gráfica 5. Resultado pregunta 4



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Con respecto a esta pregunta, nuevamente se obtuvo más de un 80% de afirmaciones y respuestas similares ya que la mayoría de personas que respondieron argumentaron que las MPS, la banda transportadora, el robot Melfa y el torno CNC son las mejores opciones al momento de integrar una nueva herramienta como un AGV al sistema.

5.8.5 Con el AGV, liste el tipo de actividades que puede realizar con sus estudiantes

En esta pregunta se indaga sobre las posibles actividades que se podían realizar con los estudiantes si se implementara a futuro un AGV. Las respuestas variaron desde prácticas libres, simulaciones para operaciones logísticas como transporte de materiales, carga y descarga, almacenamiento de materiales, transportes de materia prima, integrar el FMS con las MPS, tesis en pregrados y posgrados y simulaciones de sistemas de transportes automatizados basándose principalmente en el FMS.

5.8.6 Qué inconvenientes se tendrían en una futura implementación

Respecto a los inconvenientes que se tendrían al momento de implementar un sistema como estos los principales fueron el costo, tanto del equipo como de sus repuestos y programas de funcionamiento, el espacio y el costo de adecuación del CTAI para implementar una herramienta como el AGV.

En conclusión y con respecto a esta encuesta un AGV sería una excelente herramienta de trabajo para el CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, ya que no solo traería beneficios para los estudiantes sino también para el laboratorio y las personas que trabajan diariamente en él. El AGV es una forma de potenciar el CTAI y acercarlo cada vez más a lo que está pasando hoy en día en la industria avanzada en tecnología como Tsumura (1995) indica diciendo que los sistemas AGV están siendo las herramientas principales en automatizar el manejo automático de materiales en la industria y cada vez más se utilizan en sistemas especialmente de manufactura.

6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGV

Para tener en cuenta una posible implementación de un vehículo guiado automáticamente en el CTAI es necesario que se definan las características físicas que este debe tener para poder integrarse exitosamente al sistema. Un vehículo guiado automáticamente se tiene que diseñar teniendo en cuenta las necesidades del entorno donde este tendría aplicación y es de vital importancia tener el mayor número de especificaciones definidas para poder llevar a cabo la implementación de un tipo de tecnología como esta.

6.1 ANÁLISIS DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL FMS

En el CENTRO TECNOLÒGICO DE AUTOMATIZACIÒN INDUSTRIAL de la Pontificia Universidad Javeriana, se trabajan distintos tipos de materiales los cuales se utilizan para realizar las prácticas de laboratorio con los estudiantes.

Estos materiales pueden ser utilizados en el FMS, en los tornos manuales o en las MPS y para el caso de la posible implementación de un AGV constituirían la materia prima con la cual el AGV tendría que interactuar.

Los materiales utilizados con sus características son:

6.1.1 Ultarpol

Es un material termoplástico rígido, tipo poliolefinico, de alta densidad y elevado peso molecular elaborado por la compañía COREL. Entre sus propiedades inherentes más destacadas se tiene que cuenta con una excepcional resistencia al corte, tiene una superficie auto-lubricada y anti-adherente, bajo coeficiente de fricción, mínimo desgaste por efecto abrasivo, alta resistencia al impacto, resistencia a los productos químicos, mínima absorción de humedad y es aceptado para contacto con alimentos. Además de esto es un plástico que por sus propiedades y bajo peso es uno de los materiales más económicos y que representan mayor utilidad para la ingeniería.

Tabla 8. Propiedades mecánicas del ultrapol

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia al Corte	<ul style="list-style-type: none"> • La superficie del ULTRAPOL tiene la cualidad de soportar el efecto de herramientas de corte sin mostrar escamado, rayado, fragilización o deformación, frecuentes cuando se usan otros plásticos o madera.
Coefficiente de Fricción	<ul style="list-style-type: none"> • El ULTRAPOL tiene superficie auto-lubricada, característica que unida a su bajo coeficiente de fricción permite su empleo como material de deslizamiento. • Los productos húmedos no se pegan a su superficie y es ideal en instalaciones de elevación, descarga y transporte de ininidad de productos. • Adecuado para la fricción contra metales, vidrio u otros plásticos.
Resistencia al Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> • La resistencia del ULTRAPOL al desgaste por fricción y abrasión es superior a la de los metales comunes y a la de otros plásticos de ingeniería.
Resistencia al Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • El ULTRAPOL se comporta extremadamente bien ante impactos de alta frecuencia y vibración. Colabora en la amortiguación de ruido en las instalaciones.

Fuente: Tomada de Catalogo ultrapol

Tabla 9. Propiedades Ambientales del ultrapol

PROPIEDADES AMBIENTALES	
Resistencia Química	<ul style="list-style-type: none"> • El ULTRAPOL es uno de los plásticos de mayor resistencia química, solo superada por el Teflón de Corel. • El ácido fuertemente oxidante vg. Nítrico y sulfúrico, solo lo afectan superficialmente. • Inerte a productos alcalinos, sales, alcoholes, acetonas, aceites y grasas.
Absorción de Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Aún en aplicaciones sumergidas el ULTRAPOL es hidrófilo y no muestra fenómeno de hinchamiento por retención de agua. En esto supera al nylon y a los plásticos fenólicos que se degradan por absorción de humedad.
Propiedades Biológicas	<ul style="list-style-type: none"> • El ULTRAPOL es insípido y no tiene olor. No sufre enmohecimiento u otra alteración de tipo biológico.
Temperatura de Servicio	<ul style="list-style-type: none"> • En servicio continuo el ULTRAPOL es adecuado para la fabricación de partes y repuestos para uso mecánico, químico y eléctrico, que operen bajo carga a temperaturas de -65° a 70°C.
Características Eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Posee alta resistencia dieléctrica y bajo factor de disipación lo que sugiere su aplicación en componentes de sistemas eléctricos.

Fuente: Tomada de Catalogo ultrapol

Tabla 10. Propiedades del ultrapol

PROPIEDADES	UNIDADES	VALOR
Color	-	Blanco
Gravedad Especifica	g/cm ³	0,96
Dureza Shore	Escala D	70
Resistencia a la Traccion	lb/pulg ²	4000
Alargamiento de Ruptura	%	700
Resistencia al Impacto	pie-lb/pulg	1,5
Mòdulo de Flexiòn	lb/pulg ²	160000
Deformacion por Compresiòn	%	10%
Limite PV (Presiòn Velocidad)	lb-pie/pulg ²	3500
Coeficiente de Fricciòn: seco	-	0,10 - 0,20
Coeficiente de Fricciòn: lubricado	-	0,05 - 0,10
Temperatura de Servicio	Grados centigrados	Menos 65 a 70
Temperatura de Fragilizaciòn	Grados centigrados	Menos 118
Absorciòn de agua	-	Despreciable
Constante Dielèctrica	-	2,3
Resistencia Dielèctrica	volt/0,001 pulg	600

Fuente: Tomada de Catalogo ultrapol

Tabla 11. Presentaciòn de Placas y Láminas de ultrapol

LAMINAS				
DIMENSIONES NORMALES				
Espesores	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"
	5/8"	3/4"	1"	1-1/4"
	1-1/2"	1-3/4"	2"	2-1/2"
	3"	3-1/2"	4	4-1/2"
Tolerancias + - 3% del espesor nominal				
Tamaños de la norma	12" x 24" (30,5 x 61 cm)			
	24" x 24" (61 x 61 cm)			
	24" x 48" (61 x 122 cm)			
	20" x 30" (51 x 76 cm)			
	20" x 60" (51 x 122 cm)			

Fuente: Tomada de Catalogo ULTRAPOL

Tabla 12. Presentación de Barras Cilíndricas de ultrapol

BARRAS CILINDRICAS				
DIMENSIONES NORMALES				
Diametros nominales	1"	1-1/4"	1-1/2"	1-3/4"
	2"	2-1/4"	2-1/2"	3"
	3-1/2"	4"	4-1/2"	5"
Longitud 12" (30,5 cm)				

Fuente: Tomada de Catalogo ultrapol

6.1.2 Cera

Tabla 13. Presentación de Cera

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Forma	Solido
Color	Acorde con la especificación del producto
Olor	Inoloro
Punto de Fusión	Indeterminado
Punto de Ebullición	Indeterminado
Punto de Inflamación	>150 Celsius
Auto encendido	El producto no se auto enciende
Peligro de explosión	El producto no tiene peligro de explosión
Densidad	Indeterminado
Solubilidad en agua	Insoluble
Contenido solvente	0%
Contenido solido	100%
Descomposición térmica	No se descompone si se usa acorde a las especificaciones
Reacciones peligrosas	Reacciona con agentes oxidantes
Descomposición peligrosa	No hay descomposición conocida

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

6.1.3 Cristalan

“El CRISTALÁN 809 es una resina poliéster orto ftálica, tixotrópica y pre acelerada. El CRISTALÁN 809 presenta características de rápida impregnación en procesos de moldeo por contacto, que minimizan los requerimientos de mano de obra y optimizan los costos del proceso de laminación. El CRISTALÁN 809 se fabrica bajo licencia y asesoría de Scott Bader Limited (Inglaterra) y está aprobada por la compañía inglesa

LloydsRegister of Shipping para la construcción de embarcaciones bajo su supervisión.

El CRISTALÀN 809 reduce el tiempo de impregnación de la fibra de vidrio en un 15 a 20%. Debido a la facilidad de impregnación del refuerzo, es muy apropiado para fabricación de laminados con alto contenido de vidrio, o para la construcción de laminados gruesos, en los que se emplea tela mat o roving tejido de alta densidad (1.200 g/m²). La menor temperatura exotérmica de CRISTALÀN 809 permite la Aplicación de varias capas consecutivas de resinas y refuerzo dando en consecuencia una rata de producción mayor y un menor tiempo de rotación de los moldes. Se puede emplear sin modificación en la mayoría de equipos "spray" y su tixotropía evita el chorreo en superficies verticales o inclinadas cuando se usa con tela lat."¹⁹

Tabla 14. Especificaciones Cristalán

CARACTERISTICA	VALOR	METODO andercol N
Apariencia	Rosada turbia	IT-1.01
Valor àcido	32 m̀ximo	TI-1.14
Viscosidad Brookfield (cps) 25 Grados centigrados		IT-1.06
(Aguja 2,20 r.p.m., 5 minutos)	1100 - 1300	
(Aguja 2,20 r.p.m., 10 minutos)	490 - 710	
(Aguja 2,2 r.p.m., 5 minutos)	1010 - 1290	
% solidos	58 - 62	IT-1.11
Tiempo de gel (Minutos) 25 grados centigrados	9 a 12	IT-3.04
Reactividad		IT-3.04
Temperatura de exotermia en grados centigrados	145 - 165	
Tiempo de exotermia en minutos	20 - 26	
Molienda	5 m̀nimo	IT-1.04

Fuente: Tomada de Literatura t̀cnica, Cristalan 809

¹⁹ Literatura t̀cnica, Cristalan 809 (mayo 2001)

6.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGV

Tabla 15. Aplicabilidad del AGV en el CTAI

TIPO DE AGV	FOTO	FUNCION	APLICABILIDAD EN EL CTAI
Vehículos de horquillas montante deslizante			Estos dos tipos de vehículo serían una buena opción de implementación en el CTAI ya que al trabajar con pallets son ideales. Se puede manejar un tamaño que se acople a las instalaciones del laboratorio y al ser robots que se implementan en industrias con alto grado de automatización se podría pensar en un vehículo como estos.
Vehículos de horquillas individuales		Los vehículos de horquillas se utilizan principalmente para el movimiento de cargas con pallets, funcionan bien cargando y descargando producto y se utilizan principalmente en sistemas donde se cuenta con alto grado de automatización. Dependiendo de la función que se necesite, del producto y de las instalaciones el vehículo puede cambiar su forma y algunos aspectos de su funcionamiento.	
Vehículos de horquillas para grandes alturas			Aunque las horquillas podrían ser una buena opción para trabajar en el CTAI, un tipo de robot como este se saldría de las especificaciones ya que estos robots están diseñados para alturas de más de 7 metros lo cual no se necesitaría en el FMS.

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 16. Aplicabilidad del AGV en el CTAI

TIPO DE AGV	FOTO	FUNCION	APLICABILIDAD EN EL CTAI
Vehículos para bobinas		<p>Estos vehículos se utilizan para el transporte de bobinas (Cilindros de gran tamaño) principalmente en la industria textil, en la industria papelerera, en la industria de los plásticos o en la construcción. Estos vehículos sirven para transportar grandes pesos y pueden tener una superficie curva o unas horquillas diagonales que permitan el posicionamiento de las bobinas.</p>	<p>Para el caso del CTAI este tipo de vehículo no es recomendable debido a varias razones. La primera es que en el laboratorio no se trabaja con materiales de este tipo (bobinas), la segunda es que este sistema se utiliza únicamente para cargas muy pesadas las que no se manejan en el FMS y la tercera es que para un sistema como estos se necesita bastante espacio debido al tamaño de las cargas y por ende del AGV.</p>

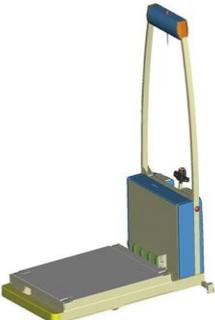
Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 17. Aplicabilidad del AGV en el CTAI

TIPO DE AGV	FOTO	FUNCION	APLICABILIDAD EN EL CTAI
Vehículos contrapesados de horquillas individuales		<p>Este tipo de vehículo funciona de manera similar a los vehículos con horquillas con la diferencia de un contrapeso en la parte trasera del AGV para poder manipular cargas más difíciles. Este tipo de vehículos también</p>	<p>En nuestro caso un vehículo contrapesado como este podría ser viable para la aplicación en el CTAI ya que es similar al vehículo con horquillas. La desventaja es que este es más grande lo que ocuparía más espacio y podría dificultarse la maniobrabilidad de este en el sistema.</p>
Vehículos contrapesados de horquillas laterales		<p>cuenta con la diferencia de que puede contar con horquillas laterales las cuales pueden ser ideales para poder pasar por pasillos de almacenaje angostos y poder</p>	<p>Este tipo de vehículos no es apto para el CTAI ya que las horquillas laterales no serían necesarias. Además estos vehículos están diseñados para llegar a alturas de más de 4 metros lo que en el caso del CTAI se consideraría innecesario.</p>
Vehículos contrapesados de horquillas múltiples		<p>posicionar el producto o la materia prima fácilmente y con poca maniobra.</p>	

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 18. Aplicabilidad del AGV en el CTAI

TIPO DE AGV	FOTO	FUNCION	APLICABILIDAD EN EL CTAI
Vehículos con plataforma		<p>Tipo de vehículo especializado en el movimiento de varios tipos de carga pero a ras de suelo. Es necesario que le coloquen la carga para que este la pueda transportar y no cuenta con la función de apilar o almacenar materia prima.</p>	<p>En el caso del CTAI este vehículo serviría para el movimiento de pallets pero cuenta con la desventaja que no puede recoger ni descargar materia prima. En el caso del CTAI esta opción no es válida por que la intención del robot es que se integre con las diferentes estaciones del sistema de forma automática y reduciendo al máximo la interacción humana.</p>
Vehículos con transportador		<p>Este tipo de vehículo se emplea en las aplicaciones donde se necesite realizar carga lateral de pallets y puede contener cualquier sistema que transporte material como cintas, rodillos o cadenas.</p>	<p>Se utiliza para pallets lo que es una buena función para el CTAI. Pero estos vehículos se usan para cargas relativamente pesadas y grandes lo cual no sería una buena aplicación para el CTAI.</p>
Vehículos para cargas pesadas		<p>Este AGV como su nombre lo dice es para cargas pesadas como automóviles. Es un vehículo con una superficie grande y de un tamaño</p>	<p>No es una aplicación viable para el CTAI por su tamaño y por el peso que puede soportar. El CTAI es un laboratorio pequeño donde estos vehículos no tendrían cabida.</p>

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 19. Calificación de los diferentes tipos de AGV

TIPO DE AGV	FUNCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CALIFICACIÓN
AGV apilador	Empleado para el movimiento de cargas paletizadas en altura. Existen diferentes modelos en función de la carga y la altura a elevar. Además existen dos configuraciones de brazos soporte (bajo las uñas o separados) según el tipo de pallet y su lado de manejo.	Se trabaja con cargas paletizadas, cargas libres y elevadas.		2
AGV contrapesado	Empleado para sustituir al AGV apilador en aquellas aplicaciones en que no sea posible manipular la carga correctamente a causa de los brazos soporte.		El CTAI no trabaja con carga pesada.	0
AGV con transportador de rodillos o cadenas para carga/descarga lateral	Empleado en aquellas aplicaciones en que se requiera realizar la carga lateral de los palets, puede basarse en uno de los AGVs anteriores con un implemento que incorpora el transportador.		No se requiere ni rodillos ni cadenas para el transporte de material	0
AGV trilateral	Empleado para el movimiento de cargas en almacenes de pasillo estrecho, solución para almacenes de media rotación.	En el CTAI se cuenta con un espacio bastante estrecho		1
AGV para movimiento de bobinas en horizontal	Empleado en aquellas aplicaciones en que se requiera manipular bobinas de eje horizontal, puede basarse en uno de los AGVs anteriores transformando sus horquillas para la manipulación de bobinas.		Se requiere para todo tipo de movimiento no solo horizontal.	0
AGV para movimiento de bobinas en vertical	Empleado en aquellas aplicaciones en que se requiera manipular bobinas de eje vertical, puede basarse en uno de los AGVs anteriores equipándolo con un implemento de pinza que permita manipular las bobinas.		Se requiere para todo tipo de movimiento no solo vertical.	0
AGV para transporte de cargas pesadas o voluminosas	Empleado para el movimiento de cargas pesadas (varias toneladas) o muy voluminosas, se realiza una mecánica a medida con diferentes configuraciones de ruedas, en función del espacio de maniobra.		Solo se trabaja con cargas livianas y pequeñas	0

Calificación	
Ofrece muchas ventajas para los requerimientos del CTAI	2
Ofrece pocas ventajas para los requerimientos del CTAI	1
No ofrece ninguna ventaja para los requerimientos del CTAI	0

Según la calificación anterior el AGV que más ventajas ofrece para los requerimientos del CTAI y que se va a tener en cuenta para caracterizar mejor el robot a utilizar es el AGV apilador ya que este es un robot empleado para carga y descarga de materiales, para apilar materia prima y producto terminado y al mismo tiempo puede movilizar pallets. Estos requerimientos se encuentran en el FMS y un tipo de transporte de materiales con estas características podría ser el ideal para la integración del FMS y sus estaciones.

6.3 REQUERIMIENTOS

Teniendo en cuenta que el robot con el que se va a trabajar en el centro tecnológico es con propósitos académicos, los requerimientos para el sistema AGV serán tomados en cuenta teniendo como base el robot “*ROBOTINO*” de Festo que es un robot que se usa principalmente con principios similares a los del CTAI que es académico y de investigación. Los requerimientos nombrados en este apartado son de carácter opcional para un futura implementación del AGV.

6.3.1 Motores para el movimiento del robot y para el brazo robótico

“Un motor es una máquina, que produce energía mecánica, es decir movimiento con fuerza, de energía eléctrica, química u otra.”²⁰

²⁰ Glosario. {en línea}: Noviembre de 2012. Disponible en: <http://www.sured.info/defe/motor.html>

Tabla 20. Motores de corriente continua

TIPO	CARACTERISTICAS
<p data-bbox="360 405 783 434">Motor Sanyo Denki 103H546-0440</p> 	<p data-bbox="871 338 1414 831">Motor paso a paso unipolar de 2 fases modelo Sanyo Denki 103H546-0440. Este motor de tamaño Nema 17 resulta ideal para aplicaciones generales y de robótica, así; como en posicionadores, sistemas rotativos, desplazadores, máquinas automáticas, etc. Además por su tamaño y características también es muy adecuado para la tracción de robots cuyos movimientos tengan que ser altamente precisos. Características técnicas: Fuerza de mantenimiento: 0.147 N·m. Ángulo de paso: 1,8°. Tensión: 3,15V. Corriente / Fase: 1 Amp. Impedancia / Fase: 3,15 O. Inductancia / Fase: 2,8 mH. Conexiones: 6 Hilos. Inercia del Rotor: 0,03 Kg·m2. Masa: 0,2</p>
<p data-bbox="411 904 735 934">Motor potente de 152 rpm</p> 	<p data-bbox="871 837 1414 1357">Potente motor de corriente continua a 12V que proporciona 152 revoluciones por minuto con una potencia de 16,7 kg·cm que lo hacen ideal en aquellas aplicaciones de robótica en las que es necesario una mayor potencia, como es el caso de los robots de sumo y de los robots empleados en las competiciones. Este motor tiene las mismas dimensiones y cogidas que los otros modelos de nuestro catálogo, por lo que resulta muy sencillo hacer una mejora de potencia en aquellos robots que utilizan este tipo de motor, ya que simplemente hay que sustituir un motor por el otro. Lo único que hay que tener en cuenta es que el cuerpo del motor es un poco más largo. Puede utilizarse con los soportes de motor S360214.</p>
<p data-bbox="308 1487 836 1516">Motor de Corriente Continua 6 revoluciones</p> 	<p data-bbox="871 1476 1414 1794">Este motor con caja reductora de 12 V está especialmente indicado para su a baja velocidad, ya que proporciona 6 revoluciones por minutos en vacío con un consumo de 45 mA. La relación de los engranajes es de 500:1. El eje del motor es de 6 mm y se acopla perfectamente con los diferentes casquillos y adaptadores de ruedas de robots. Existe un soporte de aluminio que facilita el montaje en cualquier superficie. Fuerza: 15,4 Kg/cm</p>
<p data-bbox="308 1823 416 1852">Corriente</p>  <p data-bbox="671 1800 836 1883">Motor de Corriente Continua 120 revoluciones</p>	<p data-bbox="871 1800 1414 2007">Este motor con reducción de 12 V está especialmente indicado para su utilización en robots, ya que proporciona 120 revoluciones por minutos en vacío con un consumo de 60 mA. El eje del motor es de 6 mm y se acopla perfectamente con los diferentes casquillos y adaptadores de</p>

	<p>ruedas de robots. Existe un soporte de aluminio que facilita el montaje en cualquier superficie. Fuerza: 8,8 Kg/cm</p>
<p>Motor de Corriente Continua 40 Revoluciones</p> 	<p>Motor de corriente continua de 12V con caja reductora está especialmente indicado para su utilización en aplicaciones de baja velocidad, ya que proporciona 40 revoluciones por minutos en vacío con un consumo de 45 mA. El eje del motor es de 6 mm y se acopla perfectamente con los diferentes casquillos y adaptadores de ruedas de robots. Existe un <u>soporte de aluminio S360214</u> que facilita el montaje en cualquier superficie. Fuerza: 15,4 Kg/cm</p>
<p>Motor 24V con Codificador de Cuadrante</p> 	<p>EMG49 es un robusto motor de corriente continua de 24V y 122 revoluciones con 16 kg /cm que se caracteriza por incluir un encoder o codificador de cuadrante que manda un tren de impulsos cuando gira el eje del motor, permitiendo así que un circuito externo pueda saber la velocidad real a la que está girando el eje y cuantas vueltas da. Este motor es de tamaño mediano por lo que está recomendado para robots medianos y grandes con pesos de entre 5 y 25 Kg. El encoder está formado por dos sensores de efecto hall que proporcionan un total de 588 pulsos por cada vuelta completa del rotor. El motor cuenta con condensadores internos de filtro que ayudan a minimizar el ruido y los parásitos generados por el motor al girar. El eje de salida es de 8mm de diámetro y encaja perfectamente en el casquillo de la rueda de 125 mm S360183. Existe un soporte especialmente diseñado para este motor S360301 que permite una sujeción sencilla y robusta a cualquier superficie. Características: Tensión nominal: 24V. Fuerza: 16 Kg/cm. Velocidad nominal: 122 rpm. Corriente nominal: 2100 mA. Velocidad sin carga: 143 rpm. Corriente sin carga: 500 mA. Corriente de parada: 13 A. Potencia nominal: 34,7 W. Pulsos por vuelta: 588 ppr. Longitud total: 124mm. Diámetro motor: 45mm. Diámetro Eje: 8mm. Longitud Eje: 19mm. Conexiones: Cable de 4 conductores de 300mm acabado en un conector tipo JST de 4 vías para el encoder y un conector Excon con paso 3,96 mm para la alimentación con cable de 300 mm. Circuito de control recomendado MD49: S310116</p>

<p style="text-align: center;">Motor 12V con Codificador de Cuadra</p> 	<p>EMG30 es un motor de corriente continua de 12V y 170 revoluciones que se caracteriza por incluir un encoder o codificador de cuadrante que manda un tren de impulsos cuando gira el eje del motor, permitiendo así que un circuito externo pueda saber la velocidad real a la que está girando el eje y cuantas vueltas da. El encoder está formado por dos sensores de efecto hall que proporcionan un total de 360 pulsos por cada vuelta completa del rotor. El motor cuenta con condensadores internos de filtro que ayudan a minimizar el ruido y los parásitos generados por el motor al girar. El eje de salida es de 5mm de diámetro y encaja perfectamente en el casquillo de la rueda de 100 mm S360182. Existe un soporte especialmente diseñado para este motor S360300 que permite una sujeción sencilla y robusta a cualquier superficie. Características: Tensión nominal: 12V. Fuerza: 1,5 Kg/cm. Velocidad nominal: 170 rpm. Corriente nominal: 530 mA. Velocidad sin carga: 216 rpm. Corriente sin carga: 150 mA. Corriente de parada: 2,5 A. Potencia nominal: 4,22 W. Pulsos por vuelta: 360 ppr. Longitud total: 86,6mm. Diámetro motor: 30mm. Diámetro Eje: 5mm. Longitud Eje: 9mm. Conexiones: Cable de 6 conductores de 90mm acabado en un conector tipo JST de 6 vías. Circuito de control recomendado: S310112</p>
--	---

Fuente: Tomada de Súper robótica

Los motores listados anteriormente, son motores de corriente continua, los cuales convierten la energía eléctrica en mecánica o movimiento. Todos los motores listados son apropiados para el uso de robótica. Cualquiera se adapta a los requerimientos del AGV. Aunque el motor sugerido para las características del AGV planteado es el motor que se utiliza en el Robotino de FESTO, motor GR 42x25, ya que el este realizara las mismas funciones del Robotino. Se contara con 3 motores de estos para la base. Se ubicara uno en cada rueda para llevar mejor control de éste ya que estará girando sobre su mismo eje y realizara diferentes movimientos.

Tabla 21. Especificaciones Motor DC (GR 42x25)

Rated Voltage	VDC	12	24	40
Continuous Rated Speed	rpm	3450	3600	3700
Continuous Rated Torque	Ncm	3.9	3.8	3.9
Continuous Current	A	1.9	0.9	0.6
Starting Torque	Ncm	19	20	22
Starting Current	A	7.8	4	2.76
No Load Speed	rpm	4350	4200	4400
Demagnetisation Current	A	14	6.5	4.1
Rotor Inertia	gcm ²	71	71	71
Weight of Motor	g	390	390	390

Fuente: tomada de Eriks Automation

Servomotores para el brazo robótico

Este tipo de motor es utilizado en robots, éste incluye juego para así permitir los diferentes movimientos de estas articulaciones. Se contara con 3 motores, dos (2) en las articulaciones del brazo robótico y el otro en las mordazas del brazo para así poder girar éstas para el levantamiento de pallets.

Tabla 22 Motores de corriente continua.

 <p><u>Servo estándar de 6Kg.</u></p>	<p>Servo de tamaño y peso estándar que destaca por tener un alto par de fuerza con dos cojinetes de bolas a un precio muy competitivo. Este servo es adecuado para todo tipo de aplicaciones desde aviones, coches, barcos o helicópteros a toda clase de robots. Incluye juego de platos de fijación. Las características son : Alimentación: 4,8V - 7,2V. Fuerza: 6 Kg./cm. Velocidad: 0,16 sec/60°. Dimensiones: 40,8 x 20,1 x 38 mm. Conexiones: Rojo - positivo, Marrón - negativo. Naranja - señal.</p>
--	---

Fuente: Tomada de Súper robótica

6.3.2 Fuente de energía

Los AGV's pueden contar con diferentes tipos de energía como lo pueden ser la energía eléctrica o combustibles fósiles. En el caso del Centro Tecnológico de Automatización Industrial la fuente de energía que mejor se adaptaría a el contexto del laboratorio es la energía eléctrica ya que los combustibles se utilizan principalmente para AGV's de gran tamaño y es más fácil contar con un sistema de carga de este tipo ya que se puede realizar la carga desde cualquier toma corriente del laboratorio principalmente del sistema de manufactura flexible.

6.3.3 Técnicas de carga de las baterías

Dentro de las técnicas de carga que se pueden realizar con energía eléctrica en los AGV's se tiene dos principalmente que son:

- Carga por oportunidad
- Carga de ciclo completo

La carga por oportunidad es el tipo de carga que se realiza cuando el vehículo está en espera y para este caso se cuentan con diferentes puntos dentro del sistema donde el AGV puede realizar las cargas de su batería, mientras que la carga de ciclo completo es el tipo de carga que se realiza cuando el AGV tiene que desplazarse a un sitio especial dentro del sistema para realizar su carga completa de las baterías. En el caso del CTAI el sistema de carga ideal para el funcionamiento del robot sería una carga de ciclo completo ya que esta carga permitiría que el robot cargara sus baterías durante la noche cuando nadie lo está utilizando y durante el día se le pueda dar el uso necesario. Además este tipo de carga permite que solo haya un punto de recarga dentro del sistema mientras que la carga por oportunidad necesita más puntos de recarga lo que aumentaría los costos de implementación del sistema de AGV.

Igualmente esta técnica de carga de baterías se realizara de acuerdo al método "Carga en Cliente" donde el AGV se desplaza hasta el punto de carga de baterías y este es conectado directamente a la fuente de energía sin tener que extraer las baterías del robot.

6.3.4 Batería

Para las baterías del robot se usarán las baterías de plomo ácido ya que este tipo de baterías son las que más se utilizan en el mercado por su buen funcionamiento, su buena relación potencia/peso, su gran autonomía de trabajo, el poco mantenimiento que debe realizárseles y su poco impacto ambiental. A continuación se puede observar el cuadro de calificación que se realizó para cada batería. Se escogió la de Plomo Ácido ya que obtuvo el mayor puntaje.

Tabla 23. Calificación de tipos de baterías

TIPO	CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIÓN					TOTAL
		Impacto ambiental	usos	Mantenimiento	precio	Popularidad	
Batería de plomo							
Plomo ácido	Utilizadas en automóviles, poco mantenimiento, poco impacto ambiental, más conocidas en el mercado, más económicas.	2	2	2	2	2	10
Baterías de Nickel							
Nickel-cadmio	Para vehículos, alto impacto ambiental, contaminación, alta duración de vida, precio razonable, mantenimiento regular.	0	2	1	1	1	5
Nickel metal-hidruro	No tiene efecto de memoria, capacidad de auto descarga, utilizada en pocos vehículos, mantenimiento regular, impacto ambiental, precio moderado.	0	1	1	1	1	4
Nickle metal-zinc	No contaminante, precios elevados, energía eléctrica del doble, utilizada en motos, poco mantenimiento	2	1	2	0	1	6
Batería de sodio							
Baterías de Zebra	Es una batería demasiado caliente, no tiene efecto de memoria, compuesta por materiales renovables, es 100% reciclable, precio razonable, mantenimiento regular	2	1	1	1	1	6
Baterías de litio							

Baterías Litio-ion	Utilizadas en computadores y celulares, densidad energética de 110 a 160 Wh/Kg, precio elevados, poco impacto ambiental, mantenimiento regular	2	1	1	0	1	5
Baterías Litio-polímero	Utilizadas en numerosos prototipos densidad energética de 100-110 Wh/Kg, alta durabilidad, precio extremadamente elevado, mantenimiento regular.	2	2	1	0	1	6

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

6.3.5 Sistema de guiado

Sistemas de guiado aptos para el CTAI:

Entre los sistemas que se listaron en el marco teórico, debido a las necesidades del laboratorio y las funciones del AGV a cumplir, los sistemas aptos para éste; son aquellos que no requieren de ningún tipo de modificación de la planta y funcionan libremente de cables, como lo son: sistemas de guía óptica, inercial, infrarroja, magnético, ultrasónico y laser. Ya que se justificó que no existe algún tipo de forma para identificar el mejor sistema, se deben tener en cuenta las características del entorno del trabajo para escoger el mejor.

Si se tiene en cuenta que el CTAI es un laboratorio para realizar prácticas las cuales pueden variar dependiendo de lo que se pretenda, el sistema de guiado que se acompañe la posible implementación de un AGV tiene que ser flexible, que no necesite de mucho trabajo para su implementación y que permita cambios si el centro tiene planes de expansión a futuro. Entre estos sistemas, el sugerido a utilizar para estas necesidades es el sistema de guiado por láser dado sus ventajas. La mayor ventaja de este sistema es que en unos pocos minutos una persona puede realizar cambios en la ruta del vehículo sin tener que hacer cambio en los reflectores y así poder cambiar las posiciones de carga y descarga de material. La cantidad de reflectores no está especificada pero se debe contar con un mínimo de tres (3) reflectores y entre más reflectores tenga el sistema más puntos de referencia se tendrán para el AGV y así se podrán diseñar más rutas por las que pueda transitar el vehículo.

Este sistema de guiado también cuenta con un láser giratorio el cual debe estar ubicado en la parte superior del AGV para identificar los espejos reflectores, siguiendo una programación previamente establecida le permiten realizar el trayecto deseado.

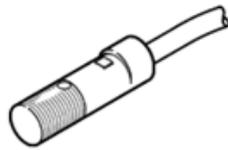
6.3.6 Sistemas de seguridad

Un vehículo guiado automáticamente es una implementación costosa y por ende se tienen que tener sistemas de seguridad que garanticen que tanto el robot como el resto del sistema incluyendo las personas no sufrirán accidentes. Es por esto que para garantizar la seguridad el AGV tiene que contar con bumpers para evitar al momento de un posible choque el daño del robot u otra parte del sistema y al mismo tiempo se tienen que tener sensores de proximidad, anticolisiones y de medición de distancia que eviten las colisiones dentro del sistema.

Los bumpers se instalarían no en el robot sino a lo largo de la trayectoria del AGV en el sistema y su función principal es evitar los daños en el robot si se produce una colisión. Con respecto a los sensores se utilizaran 7 sensores de distancia por infrarrojo que detecten objetos o personas desde los 7 cm hasta los 40 cm, un sensor de proximidad inductivo analógico y un sensor anticolisión.

6.3.6.1 Sensor de proximidad

Tabla 24. Sensor de proximidad



Caracter.	Propiedades
	S Disponible desde almacén
	Producto de serie
Construcción	redondo
Homologación	C-Tick
Marcado CE (ver declaración de conformidad)	Según la normativa UE sobre EMC
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE
Principio de medición	magnético Reed
Temperatura ambiente	-20 ... 60 °C
Salida	bipolar, con contacto
Función del elemento de conmutación	contacto de trabajo
Reproducibilidad del valor de conmutación	+/- 0,1 mm
Tiempo de conexión	<= 0,5 ms
Tiempo de desconexión	0,03 ms
Corriente máxima de salida	500 mA
Rendimiento DC máximo de conmutación	10 W
Anticortocircuitaje	no
Margen de tensión de funcionamiento DC	12 ... 30 V
Polos inconfundibles	no
Conexión eléctrica	Cable trifilar
Longitud del cable	2,5 m
Información sobre el material de la cubierta del cable	TPE-O
Tipo de fijación	con accesorios
Peso del producto	70 g
Información sobre el material del cuerpo	PP
Indicación del estado	LED amarillo
Temperatura ambiente con cableado móvil	-5 ... 60 °C
Tipo de protección	IP67

Fuente: Tabla tomada de la página de productos de FESTO

6.3.6.2 Sensor inductivo analógico

Tabla 25 Sensor de proximidad



Caracter.	Propiedades
	S Disponible desde almacén
	Producto de serie
Construcción	redondo
Homologación	C-Tick c UL us - Listed (OL)
Marcado CE (ver declaración de conformidad)	Según la normativa UE sobre EMC
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE
Principio de medición	inductivo
factores de reducción	aluminio = 0,28 acero inoxidable 18/8 = 0,68 cobre = 0,25 latón = 0,4 acero 37 = 1,0
margen de medición del recorrido	0 ... 4 mm
Temperatura ambiente	-25 ... 70 °C
resolución recorrido	0,001 mm
precisión de repetición	0,3 mm
Precisión de repetición en condiciones constantes	+/- 0,01 mm
Deriva de temperatura de la distancia de detección real	<= ± 5% (0 - 70°C) <= ± 10% (-25 - 0°C)
frecuencia máx. de conmutación DC	1.600 Hz
Salida analógica	0 - 10 V
Amplitud de banda	1.600 Hz (-3dB a s=2mm)
Intensidad máx. de carga en la salida analógica de tensión	10 mA
Anticortocircuitaje	ciclos
Resistencia a sobrecargas	presente
Valor máx. de la salida de tensión/corriente sin objeto	120 %
Tensión de salida a 23°C	0 V / -0 + 0,4 V (s=0mm) +5,2 V / ± 0,4 V (s=2mm) +10 V / ± 0,4 V (s=4mm)

Fuente: Tabla tomada de la página de productos de FESTO

6.3.6.3 Sensor infrarrojo

Tabla 26. Sensor infrarrojo

 <p>Medidor Analógico de Distancias por Infrarrojos 20 a 150 cm para robot</p>	<p>El Sharp GP2D12 es un sensor medidor de distancias por infrarrojos que indica mediante una salida analógica la distancia medida. La tensión de salida varía de forma no lineal cuando se detecta un objeto en una distancia entre 10 y 80 cm. La salida está disponible de forma continua y su valor es actualizado cada 32 ms. Normalmente se conecta esta salida a la entrada de un convertidor analógico digital el cual convierte la distancia en un número que puede ser usado por el microprocesador. La salida también puede ser usada directamente en un circuito analógico. Hay que tener en cuenta que la salida no es lineal. El sensor utiliza solo una línea de salida para comunicarse con el procesador principal. El sensor se entrega con un conector de 3 pines. Tensión de funcionamiento 5V, Temperatura funcionamiento: -10 a 60°C, Consumo Medio: 35 mA. Margen de medida 10cm a 80 cm.</p>
 <p>Sensor Infrarrojo para Robot</p>	<p>Sensor de distancia por infrarrojo para robot con un alcance máximo de 15 cm. Este sensor es muy simple y funciona por reflexión detectando la presencia o no de objetos, pero sin proporcionar un valor numérico de la misma. El sensor se conecta como si fuera un servo más, alimentándose directamente de la placa micro controladora del robot. Este sensor es muy útil para detectar obstáculos y objetos cercanos o para evitar colisiones. Dimensiones: 13 x 25 Mm. Peso: 7g. Alimentación: 5V. Longitud del cable 318 mm.</p>

Fuente: Tabla tomada de Súper Robótica

6.3.6.4 Sensor Táctil

Sensor utilizado para el uso de las mordazas. Este sensor es primordial ya que se va a trabajar con materia prima, material procesado, botellas de vidrio y de plástico, entonces se debe tener una presión programada para los diferentes tipos de producto y así evitar daños de este.

Tabla 27. Sensor infrarrojo

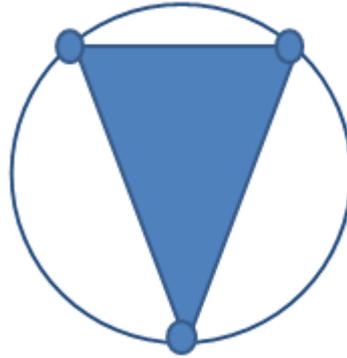
 <p><u>Sensor de Presión por Resistencia</u></p>	<p>Sensor de fuerza de tipo resistivo que puede utilizarse para proporcionar una salida de 0-5 V en función de la fuerza aplicada. Este sensor tiene una resistencia típica de uno 100 K ohmios en reposo y la resistencia baja hasta los 10 K ohmios cuando se hace presión sobre el sensor. El sensor es muy útil para detectar presión en determinados puntos como por ejemplo la parra de un robot, la presión de cierre de una pinza de robot, etc. El sensor incluye un tope de gota de silicona que le ayuda a transmitir la presión sobre la superficie sensor.</p>
--	---

Fuente: Tabla tomada de Súper Robótica

6.3.7 Ruedas

Se tendrá en cuenta tres (3) ruedas para la base del robot. Estas serán ubicadas de forma triangular ya que es más fácil realizar movimientos sobre una forma triangular que cuadrangular. Se contará con la rueda listada a continuación ya que es antideslizante, y tendrá accionamiento omnidireccional el cual permite el robot maniobrar ágilmente en todas las direcciones y sobre su mismo eje.

Ilustración 18. Ejemplo de la ubicación de las ruedas en el AGV



Fuente: Realizado por Paula Andrea Escobar y Juan Martin Echeverri

Tabla 28. Especificaciones de las ruedas

 <p>Rueda 100mm con Casquillo Aluminio Integrado</p>	<p>Rueda de goma de 100mm que incluye un casquillo de aluminio para ejes de motor de 5mm La rueda es de plástico y tiene una banda rodante de goma para un funcionamiento suave y silencioso. Esta rueda está especialmente indicada para su utilización con el motor EMG30 de referencia S330100, ya que incluye un casquillo de aluminio de 5 mm de diámetro que encaja perfectamente en el eje de este motor. Se venden por unidades.</p>
---	--

Fuente: Tomada de Súper Robótica

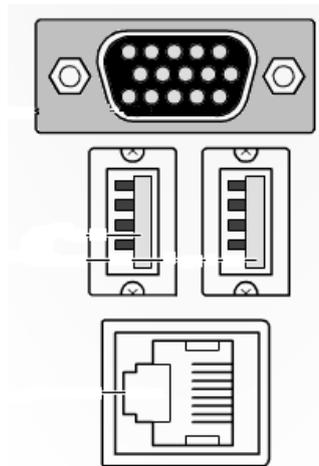
6.3.8 Capacidad de carga

Debido a que el sistema de manufactura flexible del CTAI es un laboratorio para simular procesos, no se manejan materiales muy pesados ni de gran volumen. Por esto el AGV no tiene que tener una capacidad de carga alta como los AGV que encontramos en la industria que pueden soportar un peso que puede variar entre

cientos de Kg a miles de Kg. Para el caso del centro tecnológico es necesario que el vehículo pueda soportar cargas de máximo un Kilogramo de peso.

6.3.9 Puertos de conexión

Ilustración 19. Puertos de conexión



Fuente: Tomado del manual de robotino (FESTO)

El AGV que se utilizaría en el CTAI necesita puertos de conexión diferentes para poder conectarse con diferentes interfaces y de diferentes maneras. Las conexiones VGA, USB y Ethernet son con las que contara el robot.

6.4 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

La integración del sistema por medio de la carga, descarga y transporte de materiales realizado por el AGV, sería integrar las MPS con el resto del sistema de manufactura. Como se sabe, en las MPS se realizan procesos con líquidos los cuales terminan en una estación de llenado en la cual se llenan botellas con el líquido que normalmente es agua, mientras que el resto del sistema está configurado para que una pieza llegue al torno CNC y se le haga algún tipo de proceso programado. La integración que se propone con la implementación del AGV sería que al torno vaya una pieza de ultrapol o cera la cual salga convertida en una tapa que sirva para las botellas que utilizan en el CTAI para el proceso de llenado en las MPS.

Los pasos de la integración del sistema con el AGV son:

1. Sale del almacén el ultrapol o la cera y se posiciona en la banda transportadora por medio del robot cartesiano.
2. El AGV recoge la materia prima en la estación de la banda donde se encontrara la estación de calidad.
3. Posiciona la materia prima en la estación de calidad para que esta sea inspeccionada.
4. Vuelve a posicionar la materia prima en la banda
5. La materia prima se procesa (se convierte en la tapa) en el torno y se queda en el almacén de espera
6. Sale del almacén la botella y se posiciona en la banda transportadora por medio del robot cartesiano.
7. El AGV recoge la botella en la estación de la banda donde se encontrara la estación de calidad.
8. Posiciona la botella en la estación de calidad para que esta sea inspeccionada.
9. El AGV toma la botella y la lleva a la zona de llenado en las MPS
10. Con la botella llena el AGV la recoge y la lleva a la zona de espera donde está la tapa terminada
11. Un operario tapa la botella y la almacena.

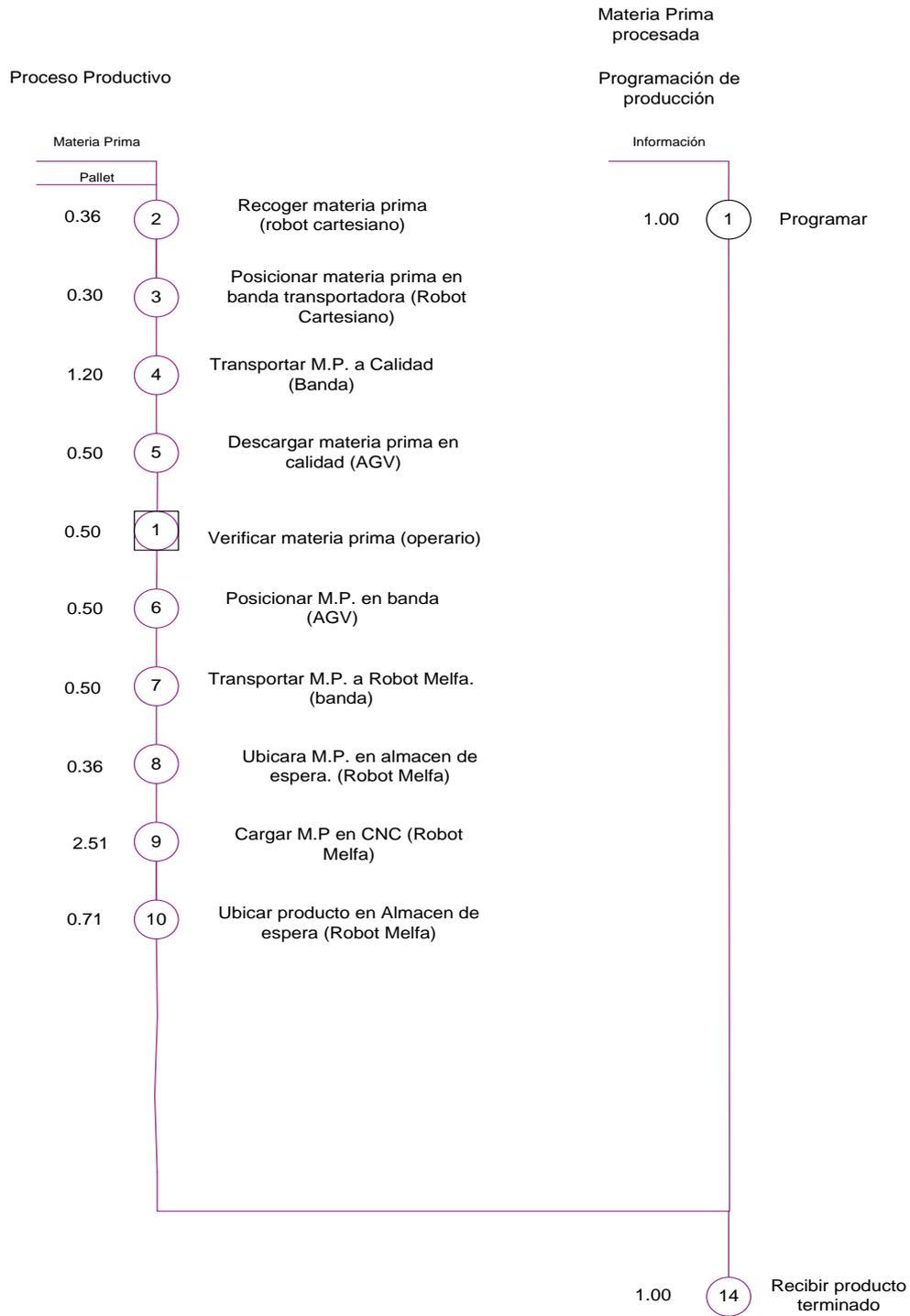
6.5 TRAYECTORIAS DEL AGV BASADAS EN LOS DIAGRAMAS DE OPERACIONES Y RECORRIDO PROPUESTOS

A continuación se establecerán las trayectorias del AGV a seguir sobre el plano propuesto del CTAI, el cual incluye el área de calidad propuesta. Estas trayectorias se concretaron con la ayuda de los diagramas de operaciones propuestos.

6.5.1 Diagramas de operaciones propuestos

6.5.1.1 Diagrama de operaciones del FMS propuesto

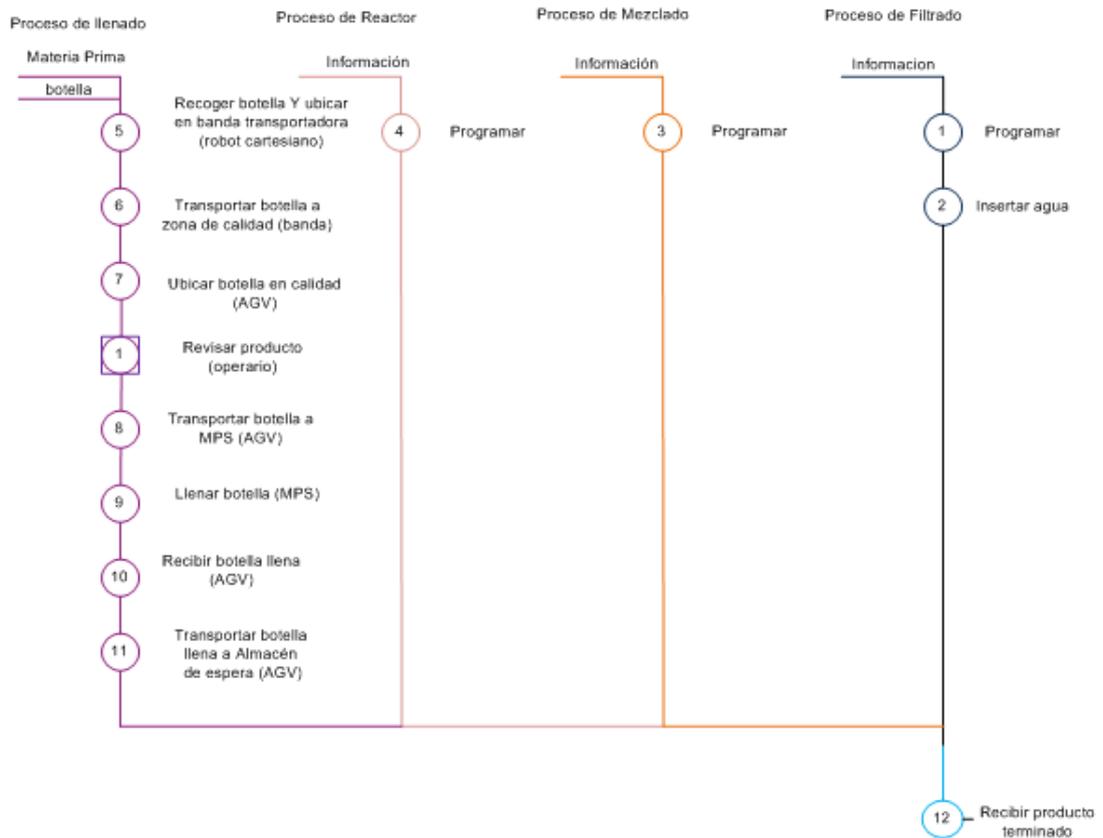
Ilustración 20. Diagrama de operaciones del FMS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

6.5.1.2 Diagrama de operaciones de MPS propuesto

Ilustración 21. Diagrama de operaciones del MPS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

En los diagramas de operaciones propuestos, se tienen en cuenta la implantación del AGV para resolver las necesidades mencionadas en el capítulo 4. En estos diagramas se puede observar que tanto para las MPS como para el FMS se agregaron operaciones que corresponden al control de calidad y a los trayectos que se realizarían por el AGV.

En el caso del primer diagrama, la materia prima saldría del almacén, se posicionaría en la banda transportadora, llegaría a un punto donde el AGV la recoge (Ver anexo CD simulación), este la llevaría al área de calidad, luego la vuelve a posicionar en la banda transportadora para que el robot melfa la lleve al torno. Ahí sería procesada y se quedaría luego en la zona de espera.

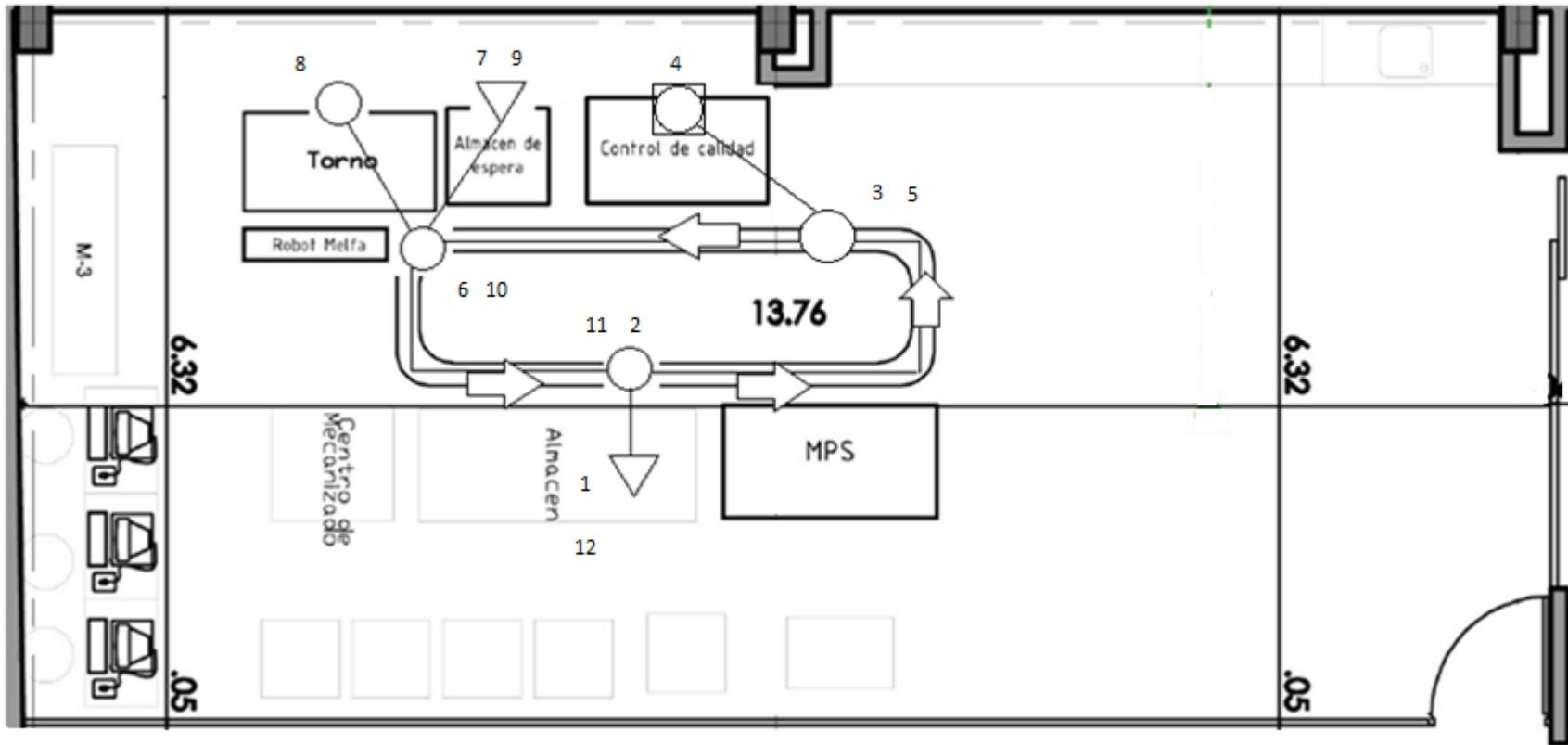
En el caso del segundo diagrama, la botella saldría del almacén, sería posicionada en la banda transportadora, esta llegaría a un punto en donde el AGV la recoge (Ver anexo CD simulación), la lleva a la zona de calidad, luego el mismo AGV lleva la botella a la zona de llenado en la MPS, después recoge la botella llena y la lleva a la zona de espera donde está el producto terminado que salió del torno unos minutos antes.

Es en este punto de la operación cuando un operario toma la pieza que salió del torno y tapa la botella llena que viene de las MPS. Luego el robot melfa toma el producto ensamblado, lo posiciona en la banda transportadora de nuevo y el producto terminado vuelve al almacenamiento. Ahí es cuando la integración completa del sistema se estaría dando utilizando todas las estaciones del FMS con un solo principio y usando la tecnología para hacer la mayor parte de este proceso automatizado.

6.5.2 Diagramas de recorrido propuestos

6.5.2.1 Diagrama de recorrido propuesto del FMS

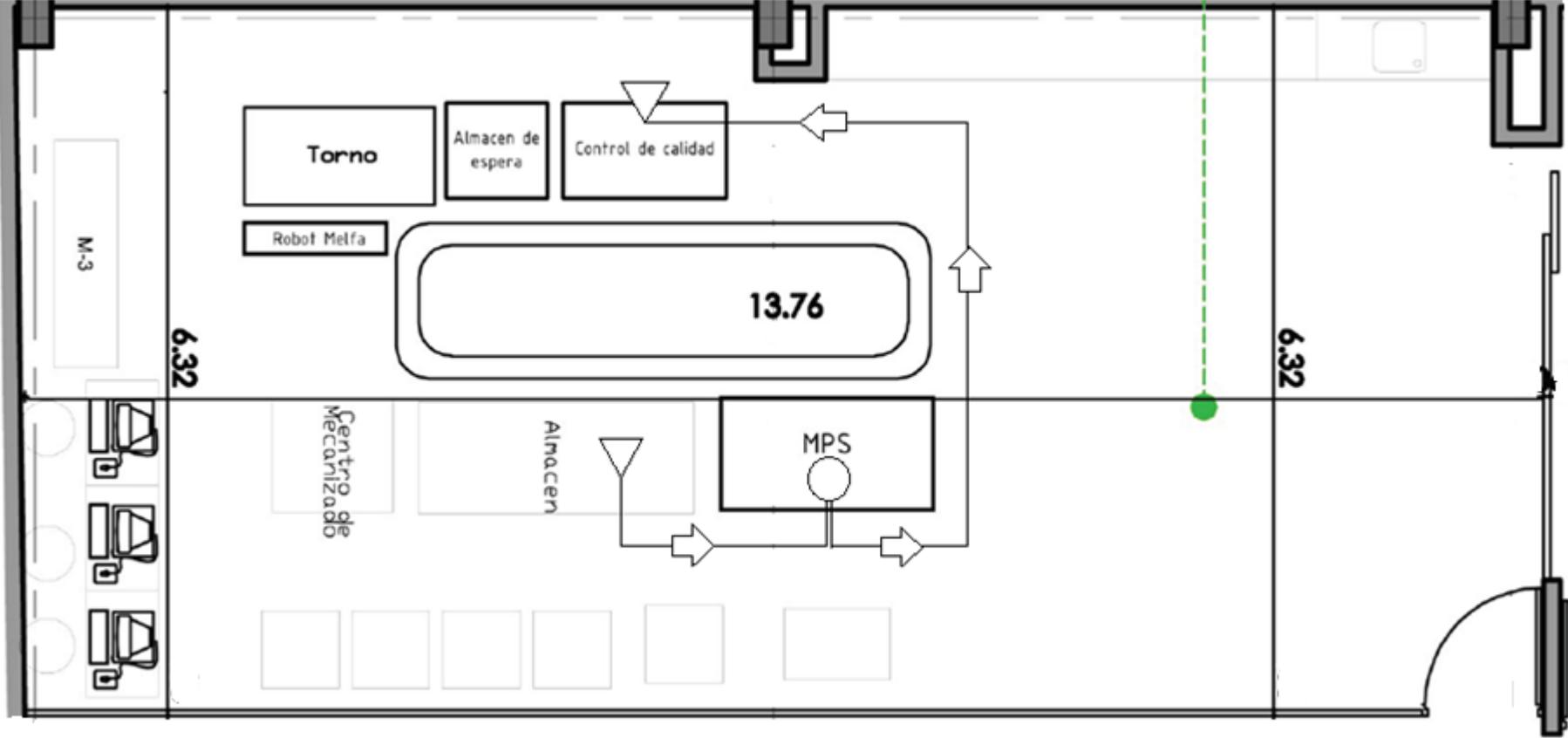
Ilustración 22. Diagrama de recorrido propuesto para el FMS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

6.5.2.2 Diagrama de recorrido propuesto de MPS

Ilustración 23. Diagrama de recorrido propuesto para el MPS



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

6.5.3 Análisis del diagrama de recorrido propuesto del FMS y MPS con la implementación del AGV.

Se puede observar el área de calidad, la cual será ubicada justo antes de llegar al torno, para así revisar la materia prima antes de ser procesada. Según Goldratt (1985) en su libro la meta, es necesario tener el control de calidad antes de que la materia prima sea procesada para evitar que después de realizar el procesamiento de la materia prima y se tenga el producto terminado no se encuentren errores que posiblemente vengan desde antes en el proceso. Esto evita desperdicios de tiempos en caso de que la materia prima tenga defectos. La banda realizará un pare en esta nueva área de calidad para que el AGV se encargue de la función de carga y descarga del producto. Luego de ser verificada, la pieza seguirá el mismo trayecto explicado en los diagramas.

7 MODELACION DEL AGV

Para realizar la modelación del AGV se determinaron 3 aspectos principales. La estructura física del robot, la programación y los modelos matemáticos. Para realizar la estructura física del robot, se tuvo en cuenta las necesidades del CTAI y mediante la herramienta con la que cuenta el CTAI que son los lego mindstorms se hizo un modelo a escala y lo más similar posible de lo requerido. La programación se realizó con el programa LabVIEW y utilizando los modelos realizados para la estructura física se hicieron las respectivas simulaciones de estos.

7.1 ESTRUCTURA FÍSICA DEL ROBOT

Para poder realizar el diseño y llegar a una estructura final del AGV que se adapte a las necesidades del centro tecnológico y que al mismo tiempo sea funcional se tuvieron en cuenta varios tipos de robots de la industria o con los que el Centro Tecnológico cuenta en este momento. Estos robots son el lego Mindstorm, los AGV's de horquillas, el robot Mitsubishi MELFA que hace parte del FMS en este momento y el robot Robotino de FESTO.

El robot MELFA es una buena idea para tener en cuenta en el diseño del AGV ya que este robot está especialmente diseñado para el funcionamiento con pallets que es una pieza importante dentro del FMS del CTAI, además que sus seis grados de libertad hacen este robot una estructura altamente flexible a la hora de realizar diferentes movimientos de carga y descarga de materiales en diferentes posiciones.

Por otra parte, las mordazas podrían estar combinadas con otro sistema de carga y descarga de materiales para así poderle dar más funciones al AGV que permitieran realizar otros tipos de ejercicios dentro del laboratorio. Es por esto que se decidió hacer en el diseño que las mordazas sirvieran como horquillas para poder realizar el levantamiento de cargas palletizadas de una manera distinta a la que hace el robot MELFA.

Ilustración 24. Horquillas para pallets



Fuente: Tomado de butti productora de accesorios para industria

Igualmente, una pieza importante en la modelación de la estructura física del robot fue el ROBOTINO de FESTO, ya que su estructura física de un tamaño pequeño y con una buena flexibilidad en su movimiento se acopla perfectamente a las necesidades del laboratorio ya que se cuenta con un espacio reducido para trabajar. Su forma redonda en la base con ruedas que permiten girar sobre su propio eje hace que este tipo de robot cumpla fácilmente con las especificaciones de tamaño y espacio que se necesitan en el CTAI.

Ilustración 25. Robotino



Fuente: Tomado del manual del robotino (FESTO)

A raíz de estos tipos de robots se pudo llegar a dos diseños, el primero, un diseño realizado con el Lego Mindstorms que cumpliera con las condiciones del brazo robotico junto con un sistema AGV que se moviera por el CIM pasando por diferentes estaciones y el siguiente fue un diseño final que puede servir como futura implementacion en el CTAI cumpliendo con los requerimientos del sistema. A continuacion se muestran las imágenes de los diseños realizados para el proyecto y el diseño final del AGV con miras a una futura implementacion en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana:

Modelo en lego mindstorms

Ilustración 26 . Diseño en Lego Mindstorms del AGV propuesto



Fuente: Tomada por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Como se puede ver en la imagen el diseño del AGV incluye dos partes, la delantera es la parte del robot encargada de la navegación por el laboratorio mientras que la parte trasera es el brazo robótico que sería el encargado de hacer la carga y descarga de materiales. Para el diseño de este AGV se utilizaron los Lego Mindstorms con los que cuenta el CTAI y se realizó en dos partes. Primero se armó la parte delantera del robot y luego se construyó la parte del brazo mecánico utilizando un modelo encontrado en la página de internet NXT programs²¹. Luego para la integración de las dos partes se utilizaron las diferentes piezas de lego con las que cuenta el laboratorio.

AGV

Ilustración 27. Lego Mindstorms seguidor de línea



Fuente: Tomada por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Brazo robótico

Ilustración 28. Brazo robótico lego Mindstorms



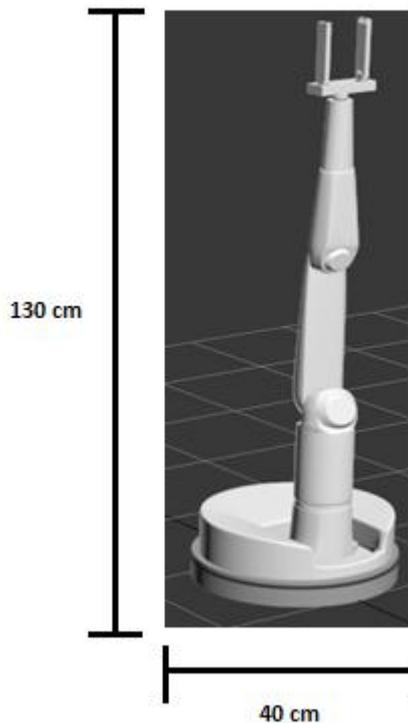
Fuente: Tomada por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

²¹ <http://nxtprograms.com/>

Modelo propuesto para la implementación en el FMS

El modelo presentado a continuación es el modelo propuesto de implementación el cual consta de las mismas partes del modelo anterior en lego midnstorms (AGV y brazo robótico) solo que este sería el modelo final de implementación. Se puede observar que su base es similar a la del robotino de Festo y su brazo robótico es similar al robot melfa con el que se cuenta en el laboratorio.

Ilustración 29. Modelo del AGV con dimensiones



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

A continuación se puede observar las medidas que se ajustan a las necesidades del CTAI, teniendo en cuenta tamaño, espacio, trayectos y funciones.

Tamaño Base del robot
40 cm de diámetro

Tamaño Brazo robótico
107 cm largo

Tamaño Base del robot
23 cm de alto

Para el material a utilizar se decidió utilizar el Duraluminio para la base robótica ya que es un material liviano y resistente. Para el brazo robótico se tuvo en cuenta un material más liviano como lo son los polímeros o fibra de carbono. Esto se decidió teniendo en cuenta que el brazo debe ser más liviano ya que a la hora de que éste

ejerza algún movimiento su centro de gravedad cambia y la base de éste debe ser más pesada para mantener un punto de equilibrio y así evitar que éste se caiga.

Duraluminio

"El duraluminio resulta idóneo principalmente para ser trabajado por deformación plástica, puesto que es dúctil y maleable. Además, puede ser trabajado con máquinas herramientas y se presta mediocrementemente a ser soldado. En las construcciones automovilísticas se usa para piezas estampadas, como brazos, palancas y detalles formados por embutición."²²

Tabla 29. Características del Duraluminio

La composición química:	Cobre, 2,5-4,5%; silicio, 0,3-0,9%; magnesio, 0,3-1,0%; manganeso, 0,5-0,8 %, y el resto es aluminio.
Las características físicas y mecánicas principales:	Punto de fusión, 503-540 °C; peso específico, 8,75 kg/dm ³ ; carga de rotura (en estado bonificado), 31-50 kg/mm ² ; carga de debilitación, 17-44 kg/mm ² ; alargamiento de rotura, 8-37%; resiliencia, 8,8 kg/cm ² , y dureza Brinell, 85-142 kg/mm ² .

²² López, F. Rubén y Pacheco, A. Nelson. 2011. Fundamentos del Duraluminio, Fundación universitaria los libertadores materiales Bogotá.

Fibra de carbono:

"Un compuesto más ligero que el acero, con igual resistencia, inmune a la corrosión, que puede adoptar diversas formas y adaptarse a las necesidades de múltiples sectores."²³

Tabla 30. Tipos de fibra

11					
Propiedad	FIBRAS SM	FIBRAS IM	FIBRAS HM	FIBRAS LM	FIBRAS UHM
Contenido en carbono	95	95	>99	>97	>99
Diámetro (m)	6 a 8	5 a 6	5 a 8	11	10
Densidad (gtm)	1,8	1,8	1,9	1,9	2,2
Resistencia a la tracción (mpa)	3800	3450 a 6200	3450 a 5520	1380 a 3100	2410
Alargamiento a la rotura	1,6	1,3 a 2,0	0,7 a 1,0	9	0,4 a 0,27
Resistencia eléctrica	1650	1450	900	1300	220 a 130
Conductividad termina	20	20	50 a 80	-	-

Fuente: Revista, Fibra de carbono Presente y futuro de un material revolucionario

Tabla 31. Características de la fibra de carbono

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LAS FIBRAS DE CARBONO	
Propiedades	Aplicaciones
Resistencia mecánica, Tenacidad y densidad	Transporte y artículos deportivos
Estabilidad dimensional (Logra conservar su forma)	Tecnología aeroespacial
Amortiguación de vibraciones y resistencia.	Equipos de audio y brazos de robot
Resistencia a la fatiga	Maquinaria textil
Resistencia química y térmica	Componentes de equipos electrónicos

Fuente: Revista, Fibra de carbono Presente y futuro de un material revolucionario

²³ LLano Uribe, Carolina, *Periodista Metal Actual*. Revista, Fibra de carbono Presente y futuro de un material revolucionario. [en línea]: <http://www.metactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>

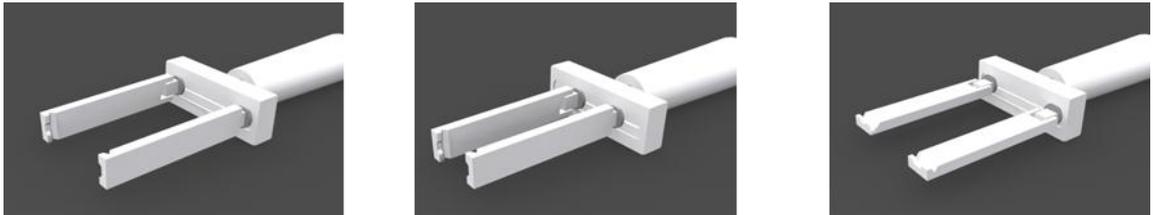
Ilustración 30. Modelo del AGV



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Este AGV está diseñado para tomar los pallets de la misma manera en la que lo hace el robot MELFA o también los puede recoger como si fuera un AGV de horquillas. El funcionamiento de su brazo robótico con 6 grados de libertad permite a este robot realizar las dos funciones.

Ilustración 31. Modelo de las pinzas del AGV



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Mordaza = 7 cm largo
Mordaza = 2,5 cm ancho
Apertura de mordazas = 11 cm

Para las pinzas se tuvo en cuenta el mecanismo del robot MELFA. Como se puede observar, estas pinzas se abren y cierran para recoger materia prima o pueden posicionarse de forma horizontal para recoger los pallets de la misma forma que lo hace un robot de horquillas.

Ilustración 32. Modelo de las ruedas del AGV



Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Las ruedas que componen el AGV son giratorias totalmente y tienen la función de las ruedas de un ROBOTINO, para así girar sobre su mismo eje a 360 grados.

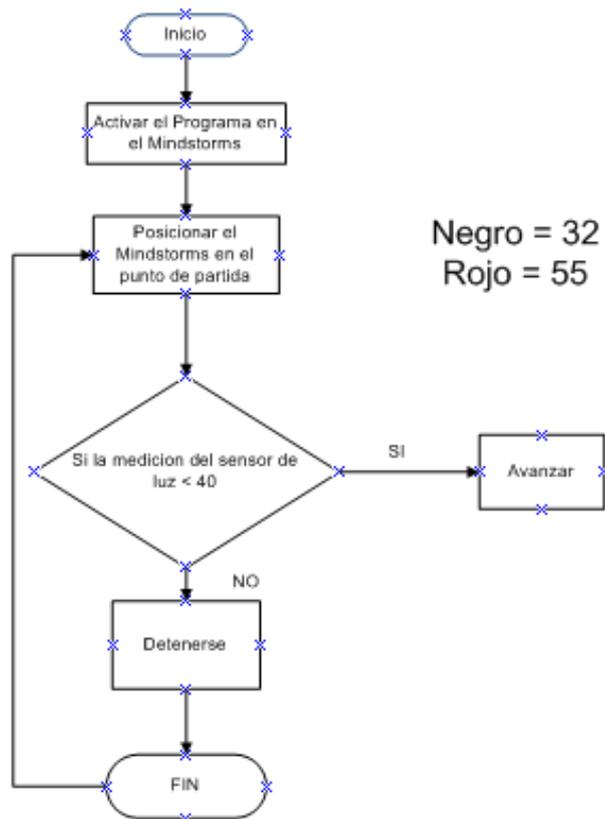
7.2 PROGRAMACIÓN DEL ROBOT

Para que un robot funcione correctamente y realice las funciones deseadas en un sistema, es necesario realizar la programación de este en un software con el que sea compatible. Cosimir, LabVIEW, Mindstorms, C++ o Java son diferentes ejemplos de programas o sistemas de computación en los que puede ser programado un robot para su funcionamiento. Para el caso de estudio en el CTAI la programación del robot se hizo utilizando los programas LabVIEW y el programa que ofrece Lego Mindstorms, ya que son dos herramientas con las que cuenta el CTAI en este momento y además de esto son compatibles con el Lego Mindstorms que es el tipo de robot que se usará.

LabVIEW se utilizó para programar el guiado del robot mediante un sensor de luz el cual definía la trayectoria mediante líneas de colores instaladas en alguna superficie. Esta secuencia se da ya que el sensor es capaz de medir la luz reflejada. Los objetos más claros reflejan más luz que los objetos más oscuros lo cual ayuda a definir la trayectoria del AGV. En el estudio, el Mindstorms seguía una línea negra la cual daba un reflejo bastante bajo incluso más bajo que el piso gris del laboratorio lo que aseguraba que el robot siempre iba a seguir la línea. Para las estaciones se usó cinta de color rojo, en donde el robot se detenía inmediatamente debido al cambio de un reflejo bajo en el sensor a un reflejo alto. Esta programación se hizo midiendo las diferentes intensidades de luz que daban las cintas de colores para luego en el programa poder utilizar los condicionales y así determinar si el robot se ponía en marcha o se detenía. En este caso se utilizaron cintas de dos colores, la negra que reflejaba una intensidad de luz de 32 y la roja que reflejaba una intensidad de luz de 55. En el programa se definió que si el sensor detectaba una intensidad menor a 40 se pusiera en marcha indefinidamente y si detectaba una intensidad superior a este valor se detuviera.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la programación del robot Lego Mindstorms para el seguimiento de una línea negra en una superficie plana:

Ilustración 33 .Programacion de seguidor de linea

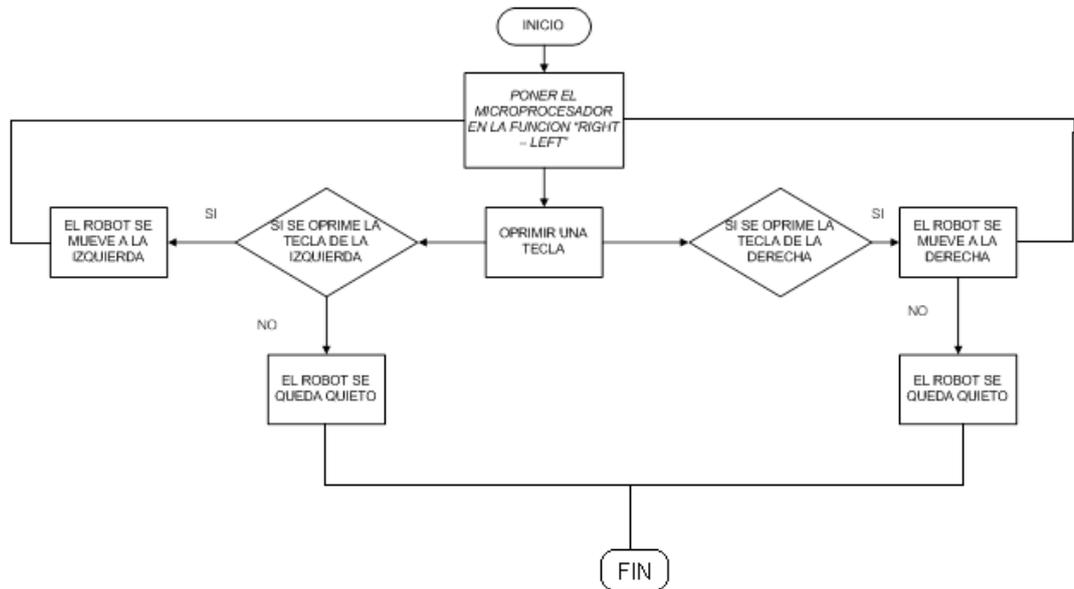


Fuente: Realizado por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Por otra parte para la programación del brazo robotico se tomo en cuenta el “*ARM CONTROL*” un programa brindado por la pagina NXT Programs la cual pone a disposicion de los usuarios de Lego Mindstorms diferentes maneras de construccion y diferentes programas de funcionamiento. Este programa se basa en la manipulacion directa de un brazo robotico de tres grados de libertad en donde el usuario directamente con los controles del microprocesador activa el brazo moviendolo en diferentes direcciones mientras carga y descarga objetos en diferentes sitios al alcance del robot. Para las pruebas realizadas en el laboratorio con el brazo se le hicieron cambios al programa principalmente en la velocidad de los movimientos (Horizontal, Vertical y de mordazas) ya que esta era demasiado abrupta y los movimientos del robot se hacian torpes cuando tenia que moverse lentamente. Al bajarle la velocidad a estos movimientos la manipulacion se hizo mas facil y la precision en sus agarres, cargas y descargas fue mayor.

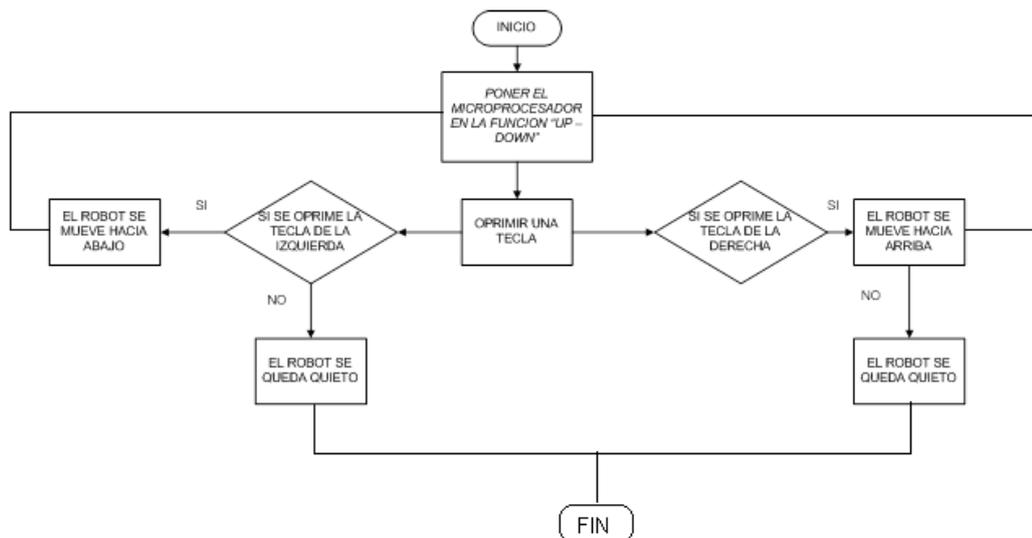
A continuación se muestran los diagramas de flujo para los movimientos del brazo robotico:

Ilustración 34. Programacion Movimientos horizontales Brazo robotico



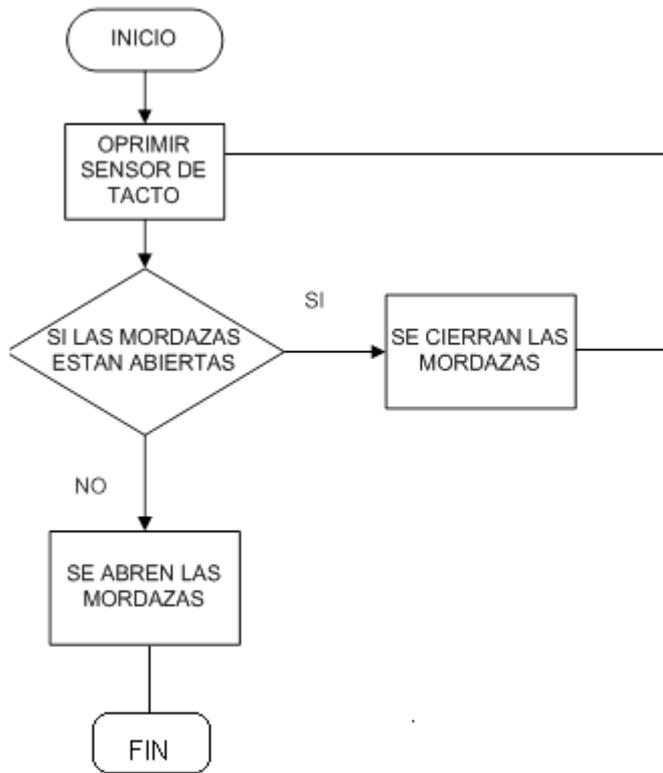
Fuente: Realizado por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Ilustración 35 .Programacion Movimientos verticales Brazo robotico



Fuente: Realizado por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Ilustración 36 .Programación Mordazas Brazo robótico



Fuente: Realizado por Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar

Para ver el funcionamiento de los robots, referirse al CD anexo

7.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE LA NAVEGACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL ROBOT

En un sistema AGV las existen ecuaciones matemáticas que pueden servir para describir la operación del sistema. Tiempos de ciclo, disponibilidad de los AGV, eficiencia, tiempos de disponibilidad por hora, tasas de entrega de productos, cargas de trabajo y vehículos requeridos son diferentes variables que se pueden medir mediante ecuaciones matemáticas.

Teniendo en cuenta un robot LEGO MINDSTORMS el cual es un vehículo guiado automáticamente que puede realizar diferentes funciones como la carga y descarga de material que son las funciones principales del AGV propuesto se realizaron los diferentes cálculos matemáticos para la posible implementación de un AGV en el CTAI.

Para la realización de estos cálculos se tomaron las medidas de las distancias que el AGV va a recorrer durante su operación en el CTAI. Por otra parte se tomaron los tiempos de carga y descarga de las piezas teniendo como base de referencia el brazo robótico armado con la herramienta lego mindstorms, al igual que la velocidad de este que también se usó como referencia la misma herramienta. Se hicieron dos cálculos

principales para los cálculos matemáticos teniendo en cuenta las operaciones que el AGV tendría que realizar para las MPS y para el resto del sistema

A continuación se mostraran las ecuaciones típicas de un sistema AGV con los respectivos cálculos para el CTAI teniendo en cuenta los datos de un robot LEGO MINDSTORMS:

○ **Tiempo para un ciclo de entrega**

$$T_C = T_L + \frac{L_d}{V_C} + T_U + \frac{L_e}{V_e}$$

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)

Tabla 32. Velocidad del AGV

Velocidad del AGV	
Velocidad del AGV cargado	Velocidad del AGV descargado
9 cm/seg	9,5 cm/seg
0,09 m/seg	0,095 m/seg
5,4 m/min	5,7 m/min

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 33. Tiempos de carga y descarga

Tiempos de carga y descarga	
Carga	Descarga
20 seg	5 seg
0,33 min	0,083 min

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 34. Distancia primera entrega

Distancias primera entrega	
Vehículo cargado	Vehículo descargado
7 pies	12,5 pies
2,12 m	3,81 m

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Tabla 35. Distancias segunda entrega

Distancias segunda entrega	
Vehículo cargado	Vehículo descargado
39 pies	40 pies
11,88 m	12,19 m

Realizado por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

○ **TIEMPO DE CICLO 1**

$$T_c = 0.33 + \frac{2.12}{5.4} + 0.083 + \frac{3.81}{5} = 1.47$$

Este tiempo nos indica que el AGV se tardaría 1.47 minutos realizando el proceso de recoger la pieza en la banda, llevarla al área de calidad y volviéndola a descargar en la banda transportadora para que esta sea llevada al torno CNC.

○ **TIEMPO DE CICLO 2**

$$T_c = 0.33 + \frac{2.12}{5.4} + 0.083 + \frac{12.19}{5} = 4.75$$

Este tiempo indica que el AGV se tardaría 4.75 minutos realizando el proceso de recoger la botella en calidad, llevarlo al proceso de llenado en la MPS y luego llevarlo a la zona donde se le pone la tapa hecha en el torno para ensamble final.

○ **Tasa de entregas por vehículo**

Disponibilidad (A): Es la porción del tiempo que el vehículo no está en reparación y puede ser utilizado.

Congestión de tráfico (Tf): Son las pérdidas de tiempo que el vehículo tiene cuando está en funcionamiento.

Eficiencia de conductores manuales (E): Tasa del operador comparada con los estándares.

Tiempo de disponibilidad por hora del vehículo (AT): $60 \cdot A \cdot Tf \cdot E$

Tasa por hora de entrega por vehículo: $R_{dv} = \frac{AT}{T_c}$

Teniendo en cuenta que nuestro vehículo es una herramienta con fines académicos, no se tomaran en cuenta como relevantes la disponibilidad y la congestión de tráfico. La disponibilidad se tomara como un 100% ya que el AGV no estará en funcionamiento todo el tiempo y solo se usara en las clases o las practicas libres autorizadas, además el mantenimiento de este se debe realizar cuando no haya programaciones de uso. La congestión de tráfico será nula ya que el AGV será el único en su especie dentro del sistema y debido a que es una herramienta con la que se debe tener extremo cuidado para protegerlo no habrá obstáculos en el FMS cuando este esté en funcionamiento. Debido a esto el tiempo de disponibilidad por hora del vehículo será de 60 minutos cuando esté en funcionamiento.

○ **TASA POR HORA DE ENTREGA 1**

$$R_{dv} = \frac{AT}{\text{Tiempodeciclo } 1} = \frac{60}{1.47} = 40.81 \approx 40$$

Esto nos indica que en la primera parte del proceso cuando el robot lleva la pieza a calidad y la vuelve a llevar a la banda transportadora este es capaz de realizar esta operación aproximadamente 40 veces en una hora.

○ **TASA POR HORA DE ENTREGA 2**

$$R_{dv} = \frac{AT}{\text{Tiempodeciclo } 2} = \frac{60}{4.75} = 12.63 \approx 12$$

Esto nos indica que en la segunda parte del proceso cuando el robot lleva recoge la botella, la lleva a las MPS y luego la lleva a la zona de ensamble puede realizar este proceso 12 veces en una hora.

Si se tiene en cuenta que las dos operaciones son dependientes, ósea que para que se tenga una botella con tapa se tienen terminar los dos procesos en realizad el robot el sistema va a ser capaz de producir 12 botellas llenas con tapa en una hora.

○
○ **Total de cargas de trabajo requerido**

$$W.L. = R_f * T_c$$

R_f = Tasa total de entregas por hora requeridas

T_c = Tiempo de ciclo de entrega

$R_f = 12$

$$T_c = 6.22$$

$$W.L. = 12 * 6.22 = 74.64$$

- **Número de vehículos requeridos**

$$n_c = \frac{WL}{AT} n_c = \frac{R_f}{R_{dv}}$$

$$n_c = \frac{R_f}{R_{dv}} = \frac{12}{12} = 1$$

Después de realizar los cálculos matemáticos se puede concluir que la necesidad en el CTAI para la utilización de un AGV es de uno solo. Estos cálculos corresponden a las necesidades del laboratorio ya que en este no se trabajan grandes cantidades de material, no se trabaja durante turnos enteros y mucho menos durante un día entero. Con un AGV es suficiente para realizar la implementación a futuro de un tipo de tecnología como esta.

Según Levitin (2001) tener múltiples AGV permiten una mayor flexibilidad en la carga y descarga de materiales dándole al sistema más eficiencia pero el mismo autor comenta que el uso de varios AGV en un sistema debe estar ligado a los tiempos de carga y descarga de materiales. De la misma forma Levitin (2001) comenta que el uso de varios AGV depende de cuantas cargas se pueden realizar al mismo tiempo ya que no es bueno tener AGV's en cola para la realización de una misma tarea.

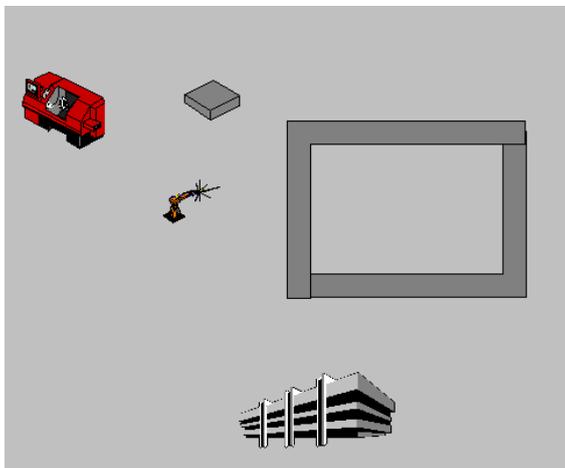
Desde el punto de vista del CTAI y su FMS la idea de tener varios AGV no es viable por las razones mencionadas anteriormente ya que no se pueden realizar cargas y descargas de materiales en un mismo tiempo según lo establecido. De igual manera el espacio del CTAI es reducido contando solo con pasillos de 1,2 metros de ancho lo cual dificultaría el trayecto de los AGV y aumentando el riesgo de colisiones.

8 SIMULACIÓN GRÁFICA DEL AGV

Para la realización de la simulación del robot, se hicieron dos simulaciones principales. Una en promodel donde se hizo la simulación actual y propuesta del sistema y una simulación gráfica del FMS teniendo en cuenta la implementación del AGV en el sistema. En la segunda simulación la cual se encuentra anexa en CD se puede observar el AGV realizando las tareas definidas anteriormente para las MPS y el resto del sistema de manufactura flexible así como la integración de este.

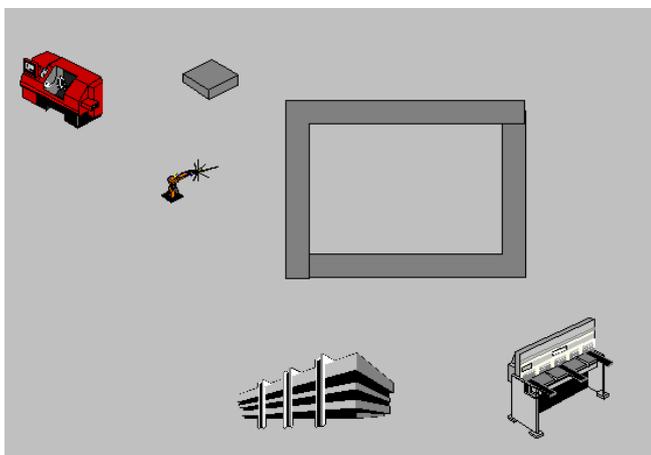
8.1 SIMULACIÓN ACTUAL DEL FMS

Ilustración 37. Proceso del FMS actual



Simulación realizada por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri.

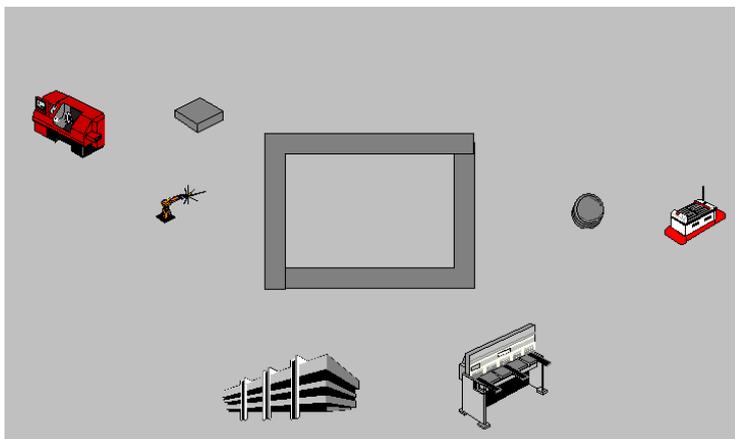
Ilustración 38. Proceso del MPS actual



Simulación realizada por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri.

Inicialmente es de gran importancia definir el termino de simulación, como lo expresa Azarang M., Garcia E. y Mc. Graw Hill. de México en el libro de simulación y análisis de modelos estocásticos, la "*Simulación* es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo." para el desarrollo de la simulación del laboratorio el CTAI, se comenzó realizando un análisis sobre el funcionamiento del FMS y MPS sobre su funciones, trayectos y operaciones. Luego se realizó una toma de tiempos de cada operación. Al momento de simular, se inició con las simulaciones actuales del FMS y MPS para observar exactamente los movimientos de éstas. Para la propuesta, a través de Promodel se fue realizando diferentes prototipos o formas de integrar ambos sistemas el FMS y MPS hasta que se obtuvo el más conveniente que es realizando un proceso de llenado de una botella a través del MPS y la tapa de ésta será producida en el FMS. A su vez habrá un AGV el cual se encargará del transporte de la materia prima y producto procesado para que estos dos procesos se puedan realizar simultáneamente y un área de calidad para verificar el producto antes de ser procesado. Al obtener los resultados estadísticos de esta simulación, como se puede observar los resultados obtenidos no afectan el proceso ya que este proceso es una producción realizada uno a uno mas no en serie. Asi que no se obtienen cuellos de botella ni tiempos de espera. Lo único que realmente cambia son los tiempos de procesamiento ya que al agregar el área de calidad y el AGV, esto causa que aumenten estos tiempos.

Ilustración 39. Propuesta de la integración del FMS y MPS



Simulación realizada por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri.

La determinación de los tiempos se hizo mientras el FMS se encontraba en funcionamiento y el robot Melfa y el torno se utilizaron a velocidades del 50% para hacer más seguro el proceso y evitar choques en la maquinaria.

A continuación se muestran los tiempos promedio registrados de las estaciones del FMS en funcionamiento del proceso actual:

Tabla 36. Tiempos del FMS

Operación	Tiempo promedio en segundos
Almacenamiento a banda	30,4
Tiempo en banda	84,5
Tiempo melfa lleva pallet a zona de espera	10,5
Tiempo melfa lleva materia prima a torno CNC	13,9
Tiempo en torno	70,2
Tiempo Melfa lleva producto terminado a zona de espera	18,5
Tiempo melfa lleva pallet a banda	21,4
Tiempo en llegar a almacenamiento	19,2
Tiempo en ser almacenado	27,4

Fuente. Realizado por Paula Andrea Escobar y Juan Martin Echeverri

De todo el sistema se pudo observar que la única estación que puede trabajar con más de una pieza a la vez es la banda transportadora la cual cuenta con 7 carros disponibles para el transporte de materia prima o producto terminado. El resto de las estaciones solo pueden procesar una pieza a la vez. También se determinó que tanto el robot cartesiano y la banda transportadora siempre funcionan a la misma velocidad mientras que el torno CNC y el robot melfa pueden variar sus velocidades cambiando drásticamente los tiempos de producción de una pieza. Para los cálculos anteriores y para el promodel se hizo con una velocidad del 50% pero si se comparan los tiempos totales a una velocidad del 50% con una velocidad del 100% en el robot y el torno la diferencia es de un minuto.

Resultados obtenidos de la simulación propuesta:

Ilustración 40. Estadísticas de la simulación propuesta

General Report (Normal Run - Rep. 1)									
MODELO PROPUESTO FMS TERMINADO.MOD (Normal Run - Rep. 1)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
banda12	0,04	999999,00	8,00	0,72	2,43	8,00	0,00	3,93	
banda34	0,04	999999,00	16,00	0,79	5,31	9,00	0,00	7,88	
ALMACENAMIENTO	0,04	999999,00	16,00	0,02	0,13	7,00	0,00	0,00	
CALIDAD	0,04	999999,00	8,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	
ALMAACEN ESPERA	0,04	999999,00	16,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	
TORNO	0,04	999999,00	8,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	
ROBOT MELFA	0,04	999999,00	32,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	
AGV	0,04	999999,00	16,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	

Simulación realizada por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Se puede observar las áreas existentes del proceso propuesto, la capacidad de cada área es infinita ya que es un proceso uno a uno. El total de entradas es de máximo 8 pallets dada programación.

Ilustración 41. Estadísticas de la simulación propuesta

General Report (Normal Run - Rep. 1)						
General	Locations	Location States Multi	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States	
MODELO PROPUESTO FMS TERMINADO.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
banda12	0,04	66,39	33,61	0,00	0,00	
banda34	0,04	30,38	69,62	0,00	0,00	
ALMACENAMIENTO	0,04	96,76	3,24	0,00	0,00	
CALIDAD	0,04	100,00	0,00	0,00	0,00	
ALMAACEN ESPERA	0,04	100,00	0,00	0,00	0,00	
TORNO	0,04	100,00	0,00	0,00	0,00	
ROBOT MELFA	0,04	100,00	0,00	0,00	0,00	
AGV	0,04	100,00	0,00	0,00	0,00	

Simulación realizada por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Acá se pueden observar los tiempos improductivos dado su porcentaje de ocupación de cada área. Dado estos resultados se sugiere programar una producción en serie para evitar tiempos improductivos y aprovechar los procesos al máximo.

Ilustración 42. Estadísticas de la simulación propuesta

General Report (Normal Run - Rep. 1)			
General	Locations	Location States Multi	Failed Arrivals
MODELO PROPUESTO FMS TERMINADO.MOD (Normal Run - Rep. 1)			
Entity Name	Location Name	Total Failed	
MATERIA PRIMA	ALMACENAMIENTO	0,00	

Simulación realizada por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Acá se puede observar que no existen fallas de entradas, ya que este es un proceso automatizado.

Ilustración 43. Estadísticas de la simulación propuesta

General Report (Normal Run - Rep. 1)						
General	Locations	Location States Multi	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States	
MODELO PROPUESTO FMS TERMINADO.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)
MATERIA PRIMA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MATERIAL PROCESADO	8,00	0,00	2,34	0,00	0,00	2,30

Simulación realizada por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Ésta tabla demuestra la cantidad de productos procesados, en este caso son 8 los que se tienen programados. A su vez muestra el tiempo promedio que tarda la operación (2,30 min).

Ilustración 44. Estadísticas de la simulación propuesta

General Report (Normal Run - Rep. 1)					
General	Locations	Location States Multi	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States
MODELO PROPUESTO FMS TERMINADO.MOD (Normal Run - Rep. 1)					
Name	% In Move Logic	% Waiting	% In Operation	% Blocked	
MATERIA PRIMA	0,00	0,00	0,00	0,00	
MATERIAL PROCESADO	0,00	0,00	98,36	1,64	

Simulación realizada por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Por último, la tabla nos arroja el porcentaje que dura el producto en proceso.

9 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA PARA UNA IMPLEMENTACIÓN A FUTURO

9.1 COTIZACIONES

ANALISIS COSTO BENEFICIO RETORNO SOBRE LA INVERSION

Para el análisis costo beneficio de la propuesta de la posible implementación de un AGV en el CTAI se tuvieron en cuenta tres cotizaciones principales. Una cotización brindada por uno de los proveedores de tecnología del Laboratorio, el cual es FESTO DIDACTICS, otra cotización que se realizó buscando los precios de los diferentes requerimientos del AGV establecidos cada uno por aparte y una tercera cotización que es la estimación de los costos de implementación de un sistema AGV establecida por la organización Material Handling Industry of America. Aunque los costos de implementación de un tipo de sistema como estos pueden variar de acuerdo al diseño final establecido, las tres cotizaciones encontradas pueden dar un estimado de lo que podría llegar a costar al CTAI este tipo de tecnología. A continuación se muestran las diferentes cotizaciones encontradas:

- FESTO didactics

Tabla 37. Cotización FESTO

MATERIAL, INSUMO O ELEMENTO	REF	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	567300	1	\$ 28.238.112	\$ 28.238.112
Sensor giroscópico 	567138	1	\$ 1.694.286	\$ 1.694.286
	574147	1	\$ 12.876.000	\$ 12.876.000
			Subtotal, sin incluir IVA	\$ 42.808.398
			IVA	\$ 6.849.343
			Total de la Oferta (Precio con IVA)	\$ 49.657.741

Fuente: Cotización enviada por FESTO a solicitud de Paula Escobar y Juan M. Echeverri

- Cotización realizada buscando los precios por aparte de los requerimientos necesarios para el AGV

Tabla 38. Cotización artículo por artículo del AGV

UNIDADES	Valor del Euro	2368,24	Moneda	Precio Unitario	Referencia
3	Motor	€ 30,87	euros	€ 92,61	S330100 MOTOR DC REDUCTOR 12V 170 RPM CON ENCODER EMG30
3	Servo motor	€ 13,02	euros	€ 39,06	S330165 SERVO MOTOR HITEC HS422
7	Sensores infrarrojos	€ 20,62	euros	€ 144,34	S300486 SENSOR DE DISTANCIAS POR INFRARROJOS ROBONOVA
1	Sensor de fuerza	€ 5,17	euros	€ 5,17	S320255 SENSOR DE FUERZA RESISTIVO
2	Sensor de distancia	€ 38,39	euros	€ 76,78	S320135 SENSOR PROXIMIDAD POR INFRARROJOS
1	Sensor analógico	€ 16,90	euros	€ 16,90	S320107 SENSOR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A02YK
1	Sensor anticolidión	€ 1,20	euros	€ 1,20	S320130 INTERRUPTOR DETECTOR OBSTACULOS
3	Ruedas	€ 10,12	euros	€ 30,36	S360182 RUEDA GOMA 100 MM CON CASQUILLO DE 5MM
1	Cargador	€ 15,33	euros	€ 15,33	S180700 CARGADOR BATERIAS DE PLOMO DE 12V
1	Display LCD	€ 27,31	euros	€ 27,31	S310118 DISPLAY LCD SERIE + I2C 4 X 20 LCD03
1	Brazo robótico	€ 338,49	euros	€ 338,49	KIT BRAZO ROBOT 6 EJES COMPLETO S300114
2	Baterías	€ 12,90	euros	€ 25,80	BATERÍAS DE PLOMO ACIDO 12 V
1	Tarjeta flash	€ 111,92	euros	€ 111,92	TARJETA FLASH (256)MB
3	Duraluminio construcción	€ 35,00	euros	€ 105,00	DURALUMINIO PLANCHAS DE 90 CM X 60 CM
1	Diseño completo	\$ 5.000.000,00	pesos	\$ 5.000.000,00	DISEÑO COMPLETO CON PLANOS HECHO POR UN INGENIERO MECÁNICO
Valor total				\$ 10.998.633,51	

Fuente: Tomado de Súper Robótica

- **Cotización de Material Handling Industry of America**

Esta cotización se basa en implementaciones de AGV en entornos industriales. Aunque el CTAI no es un entorno industrial, es importante tener en cuenta este tipo de cotizaciones ya que dan precios aproximados de una implementación de este tipo.

Tabla 39. Estimación de costos de una implementación AGV

NUMBER OF VEHICLES	UNIT LOAD VEHICLES UP TO 6,000 LBS CAPACITY					
	COMPLEXITY - \$ (Thousands Dollars) PER VEHICLE					
	1		2		3	
	Low	High	Low	High	Low	High
1	50	250	100	300	150	350
2 to 4	50	200	115	225	130	325
5 and up	50	160	100	200	100	300

Fuente: Material Handling Industry of America

Complexity hace referencia a la complejidad de la implementación o al grado tecnológico que se pretende tener con la implementación del vehículo.

- El grado de complejidad 1 hace referencia a vehículos de manejo de materiales de control manual, de carga y descarga con múltiples opciones de trayectorias.
- El grado de complejidad 2 hace referencia a vehículos guiados automáticamente, que sirven para carga y descarga, con un sistema de control central por computador, con un sistema de rastreo de producto y con opciones múltiples de rutas.
- El grado de complejidad tres tiene las mismas características que el grado de complejidad dos con la única diferencia de que a los vehículos se les puede añadir diferentes funciones a las de carga de material y se utilizan en entornos más complejos y tecnológicos.

En las cotizaciones anteriores se observan diferentes tipos de costos para adquirir un AGV. En los primeros dos ejemplos la implementación hace referencia a un AGV en un entorno de investigación y didáctico como el CTAI mientras que la última cotización es un estimado de lo que puede valer un AGV en un entorno industrial. Si se comparan precios entre las tres cotizaciones se puede observar que la más costosa es la que presenta Material Handling Industry of America ya que esta cotización está hecha para AGV de gran tamaño y para soportar pesos hasta de 6.000 libras lo cual hace que este tipo de robots tengan requerimientos de construcción importantes que los hacen más costosos. Si se tienen en cuenta las dos primeras cotizaciones se observa que el costo de lo que propone Festo es mucho más elevado que cotizar parte por parte del AGV. Esto tiene ventajas y desventajas significativas a tener en cuenta a la hora de realizar la implementación de un tipo de tecnología como esta. A

continuación se muestran las ventajas y desventajas que presentan estas dos cotizaciones:

Tabla 40. Ventajas y desventajas de las cotizaciones

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS COTIZACIONES	
COTIZACION FESTO	COTIZACION PARTE POR PARTE
Costo elevado	Bajo coste
Festo entrega el robot listo y funcionando	El diseño del robot se tiene que realizar y la construcción corre por parte del CTAI
Festo proporciona capacitación en el funcionamiento del robot	No se cuenta con capacitación solo con la experiencia que se cuenta en robótica
Precio fijo	Aunque se cotizaron la mayor cantidad de requerimientos del AGV durante el proceso de construcción pueden surgir nuevos costos que aumenten el precio del AGV
Calidad de los productos garantizada	Oportunidad de construir un robot y ponerlo en funcionamiento. Puede utilizarse como complemento en las diferentes clases que se dan en el CTAI principalmente en su FMS
Se cuenta con la experiencia de festo en este tipo de tecnologías.	La construcción de un AGV por parte del CTAI puede utilizarse como temas de tesis en maestrías y doctorados en ingeniería

Realizado por Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

9.2 BENEFICIOS Y RESULTADOS

Para realizar un análisis costo - beneficio de un sistema de AGV implementado en un contexto académico es distinto a si este análisis se hiciera en una industria. En las industrias se tienen parámetros como retorno sobre inversión, eficiencias en la planta, tiempos, estandarización y utilidad neta como elementos de medición para una implementación como esta y en donde se pueden comparar las diferentes situaciones de una compañía antes y después de la integración de un tipo de tecnología AGV. En el caso del AGV en el CTAI no se cuenta con un sistema de manufactura flexible que trabaje las 24 horas del día o que tenga que vender productos para sobrevivir pero si se puede hacer un análisis de los beneficios que traería un AGV a este laboratorio principalmente teniendo en cuenta esta implementación en un contexto académico.

- **Integración del sistema:** La idea de cualquier FMS es poder integrar sus estaciones de trabajo en lo posible con tecnología que permita automatizar la operación. En el caso del CTAI se tienen fallas en la automatización del FMS y se tienen estaciones que no están

integradas con el resto del sistema. El AGV sería la herramienta óptima para realizar esta integración ya que podría hacer transportes de materia prima desde las estaciones que no están integradas (MPS) hasta las estaciones que si lo están (Banda, Torno CNC, Melfa).

- **Mayor utilización del FMS:** Hoy en día el FMS se utiliza principalmente para estudiantes de ingeniería industrial que están enfocados en el área de tecnología y en algunas asignaturas puntuales del pensum de ingeniería industrial como máquinas y equipos. La idea de implementación de un AGV también está ligada con una mayor utilización del laboratorio no solo enfocando la utilización del FMS a materias del énfasis de tecnología sino incluir otros tipos de materias que tienen mucha relación con un sistema de manufactura como lo son producción, ingeniería de procesos y logística. Por otra parte una implementación como esta puede ser provechosa para temas de investigación en posgrados como maestrías o especializaciones relacionadas con la manufactura.

- **Mayor conocimiento de nuevas herramientas:** La actualización en nuevas tecnologías en manufactura generaría nuevos factores de diferenciación a los estudiantes y profesores brindándoles nuevos conocimientos que pueden ser aplicados en el mundo exterior. La industria es cada vez más avanzada y las empresas buscan mejorar sus procesos con nuevas herramientas y personas que sepan o conozcan de ellas. Por esto el AGV es otra razón más para formar a los estudiantes y que cuenten con nuevos conocimientos aplicables en empresas.

- **CTAI como asesor industrial:** El AGV podría permitir al CTAI aumentar su experiencia en manejo de equipos tecnológicos y su integración. Esto puede llamar la atención en el mundo empresarial solicitando la ayuda del centro para futuras implementaciones o trabajos de investigación que les ayuden a mejorar sus procesos. Este tipo de asesorías no solo beneficiaría al CTAI sino también a los estudiantes que podrían estar involucrados en estos procesos.

- **El AGV como elemento diferenciador:** Tener un FMS como lo tiene la Pontificia Universidad Javeriana es un elemento diferenciador importante que puede ser reforzado con la introducción de nuevas tecnologías como en este caso el AGV. Un laboratorio bien equipado y con una buena reputación puede ser un elemento a tener en cuenta por los futuros ingenieros a la hora de escoger una universidad.

- **Costo:** Un AGV para el CTAI de las características buscadas según el proveedor FESTO cuesta alrededor de 50 millones de pesos. Si se tiene en cuenta este costo, relacionado con el valor de las otras tecnologías que se tienen en el CTAI este es de menor valor y sería el eslabón que le falta a la cadena para poder estar integrada completamente.

10 CONCLUSIONES

A medida que se realizó el trabajo se fueron encontrando diferentes conclusiones las cuales sustentaban el problema planteado inicialmente y al mismo tiempo reforzaban que el objetivo principal del proyecto si es viable y la implementación del AGV es un proyecto que podría beneficiar en gran medida al CTAI.

En primer lugar, El CTAI es un centro tecnológico el cual tiene un sistema de manufactura flexible enfocado a la simulación de sistemas de producción con tecnologías avanzadas, lo que indica que cualquier tipo de tecnología que aporte al mejoramiento como centro tecnológico podría ser tenida en cuenta como una futura implementación de mejoramiento. Se puede concluir que el CTAI como centro tecnológico y el FMS contaban con una serie de necesidades que le permitieran al laboratorio mejorar no solo a nivel local con el mejoramiento de sus herramientas y recursos físicos sino a nivel global proyectando al CTAI como prestador de servicios y como el mejor Centro tecnológico. Estas necesidades fueron la integración del FMS, más proyectos de investigación en maestrías y doctorados, mayor aplicación de las herramientas del CTAI y la reducción de interacción humana en el FMS. Gracias a estas necesidades se pudo tener en cuenta la implementación de un AGV ya que este puede brindar la solución al mejoramiento en esos aspectos en los que el CTAI encuentra una necesidad. Seguido a esto también se pudo concluir mediante una encuesta que los profesores del CTAI y las personas que trabajan en el tienen conocimiento de este tipo de tecnología y están interesados en una implementación de este tipo, factor a tener en cuenta ya que si estas personas están de acuerdo con la implementación es muy seguro que esta se realice de manera exitosa.

Otra conclusión importante es que los vehículos que actualmente prestan servicios en la industria son de tamaño considerable por lo que una compra a un fabricante de un AGV ya diseñado no es una buena opción. La mejor opción es realizar el propio diseño con las especificaciones ya establecidas de lo que se pretende realizar para poder definir la estructura física del robot y luego solicitar cotizaciones a empresas como Festo que para el caso del CTAI está muy involucrada en temas académicos. Estas necesidades tienen que ir ligadas al entorno teniendo en cuenta la planta y los materiales que el AGV tendrá que manipular. Por esto se concluyó que el mejor diseño sería uno que tuviera una base como la de robotino la cual le permite girar en 360 grados ocupando el menor espacio posible y que tuviera como manipulador un brazo robótico basado en la estructura física del robot melfa. Esta característica del brazo robótico se tomó ya que para la manipulación de pallets y materia prima de pequeños tamaños las pinzas son una buena opción de manipulación.

Respecto a los sistemas de seguridad y sensores se puede concluir que las mejores opciones las brinda el robotino de Festo ya que cuenta con sensores de proximidad y distancia que permiten tener el robot seguro y evitar las colisiones y posibles daños. Con respecto al sistema guía la mejor opción sería el sistema de guiado por láser ya que es un sistema bastante flexible y no deja atado al CTAI solo unas posibles rutas para el AGV sino que este puede ser modificado rápidamente con el fin que se pretenda en las diferentes practicas o investigaciones que se estén realizando.

Para la programación del robot se concluyó que el CTAI cuenta con software adecuado como lo es LabVIEW. Este software es muy práctico y funcional y no se tendría que incurrir en gastos y capacitaciones para la implementación de otro software distinto para la programación del AGV. Adicional a esto y teniendo en cuenta

los modelos matemáticos se pudo determinar y concluir que un AGV es más que suficiente para los propósitos académicos del centro. Esto debido a que el AGV no estaría en funcionamiento la mayor parte del tiempo, solo en clases, prácticas libres o investigaciones y debido a que el espacio es reducido dentro del FMS no sería viable tener más de un AGV.

Además teniendo en cuenta la cotización brindada por FESTO la cual incluye capacitación, brazo robótico y AGV por un valor de 50 millones de pesos aproximadamente, se puede concluir que es una inversión realizable y está por debajo de inversiones como el robot melfa, la banda transportadora, el centro de mecanizado y el torno CNC. Si se tiene en cuenta que este robot sería el eslabón que le falta al sistema para integrarlo completamente esta inversión se debe realizar e implementar para mejorar el laboratorio.

Por último se puede concluir que si se relacionan las necesidades del CTAI encontradas en el capítulo 4 con la implementación de un AGV y el resto de información encontrada en los capítulos siguientes, el AGV es una implementación que se debe hacer no solo para mejorar el funcionamiento interno del laboratorio sino para mejorar la imagen del CTAI. Los estudiantes requieren nuevas herramientas y nuevas tecnologías ya que la evolución en estos temas avanza rápidamente y cada vez se necesitan más conocimientos para ser competitivos. En conclusión el AGV haría más competitivo al CTAI con otros laboratorios y haría que los ingenieros del futuro tuvieran un conocimiento más para diferenciarse de sus homólogos en el mundo laboral.

11 RECOMENDACIONES

Una implementación de nuevas tecnologías requiere de muchas cosas de las cuales depende el éxito de esta. Las tecnologías aplicadas a sistemas de manufactura toman tiempo y se tienen que tener diferentes aspectos en cuenta para el buen funcionamiento de esta y su integración con el resto del sistema. Si se tiene en cuenta que el FMS no es solo un sistema integrado de manufactura sino que también es un espacio académico donde los estudiantes van a aprender, esta implementación debe tener en cuenta varios aspectos relevantes que permitan que un tipo de tecnología como esta pueda interactuar con el sistema y sus usuarios de la mejor manera. A continuación se listaran las recomendaciones necesarias para poder integrar exitosamente un AGV a un FMS de carácter académico:

- Se debe tener en cuenta que como los estudiantes están en el FMS para aprender. El uso de esta maquinaria debe estar supervisado por una persona capacitada y apta para el uso de esta herramienta. Pequeños errores pueden llevar a un accidente o al daño del AGV lo cual puede resultar costoso para la universidad. Esta persona que puede ser cualquiera de los profesores o asistentes del laboratorio deben estar presentes mientras se hace el uso de la herramienta tanto en clase como en prácticas libres.
- Se deben realizar clases teóricas a los estudiantes antes de la utilización del AGV para que estos se familiaricen con este tipo de tecnología. En estas clases teóricas se les debe explicar a los estudiantes todo lo que compone un SISTEMA AGV ya que este no solo incluye el robot como tal si no todos los otros elementos necesarios a su utilización.
- Una implementación de este tipo podría ser útil no solo para materias enfocadas al área de tecnología. Materias como producción, logística, ingeniería de procesos, sistemas y diseño mecánico, procesos industriales y máquinas y equipos podrían hacer uso de esta tecnología realizando prácticas o talleres que les permita a los estudiantes conocer más sobre este tipo de tecnología. Además puede ser también tema de estudio e investigación en materias de maestrías en ingeniería o asesorías a empresas necesitadas de nuevas tecnologías como esta.
- Es importante resaltar que el laboratorio al ser un centro tecnológico debe estar a la vanguardia de nuevas herramientas y nuevas tecnologías que se complementen con los sistemas integrados de manufactura, es por esto que también se debe pensar en una expansión a futuro del FMS para que todas estas nuevas herramientas puedan usarse con facilidad y con un buen espacio.²⁴
- Es de suma importancia lograr que todo egresado se lleve un pequeño conocimiento a través de una experiencia vivida en el laboratorio CTAI la cual se pueda aplicar en su vida profesional incluyendo demostraciones prácticas de todas las herramientas con las que cuenta el centro.
- Encuesta sugerida

²⁴ Necesidad obtenida de la matriz DOFA realizada por el grupo de proyección del CTAI.

Para dar más amplitud a la posible implementación de un AGV en el CTAI, es necesario conocer las opiniones del resto de sus usuarios (estudiantes), las cuales complementan lo encontrado en la encuesta aplicada a las personas que trabajan en el laboratorio. Esto es importante ya que son los estudiantes los que interactúan con las herramientas en el centro, los que utilizan los servicios del CTAI y en gran medida definen que tanto valor agregado puede aportar una tecnología como esta al FMS.

Esta encuesta se hará a modo de sugerencia para la continuación del proyecto y tendrá como objetivo evaluar otros aspectos del AGV que se deberán tener en cuenta a la hora de realizar el diseño y la implementación final de este. Teniendo en cuenta que en el CTAI hay aproximadamente 300 usuarios mensuales distintos a los profesores pertenecientes a materias como máquinas y equipos, procesos industriales, manufactura flexible, manufactura integrada por computador y procesos avanzados de manufactura se realizó un muestreo cuyo tamaño se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * P * Q * N}{(e^2 * (N - 1)) + (z * P * Q)}$$

Dónde:

n	Es el tamaño de muestra que se quiere averiguar
z	Es el valor estándar de una distribución normal
P	Probabilidad de éxito
Q	Probabilidad de fracaso
e	Error
N	Tamaño total de los estudiantes del CTAI

Para efectos de reducir el tamaño de la muestra y desconociendo la cantidad de estudiantes que están a favor o en contra de la implementación de un AGV en el CTAI las probabilidades de éxito o fracaso serán del 50% cada una. A continuación se muestran los datos con los cuales se trabajara el tamaño de la muestra:

z	1.65
P	0.5
Q	0.5
e	0.1
N	300

$$n = \frac{1.65^2 * 0.5 * 0.5 * 300}{(0.1^2 * (300 - 1)) + (1.65^2 * 0.5 * 0.5)} = 55.65 \approx 56$$

De acuerdo a la fórmula anterior para el cálculo de la muestra, se define que se deberán entrevistar 56 estudiantes usuarios del CTAI que tengan acceso al laboratorio principalmente al sistema de manufactura flexible y sus herramientas para poder

realizar una encuesta confiable que refleje un buen resultado respecto a la implementación de una nueva tecnología como lo es el AGV.

A continuación y teniendo en cuenta el propósito de la encuesta se presenta la ficha técnica:

FICHA TÉCNICA	
Diseño y realización	Juan Martin Echeverri y Paula Andrea Escobar
Universo	Usuarios estudiantes del CTAI semestralmente
Tamaño de la muestra	56 estudiantes
Muestreo	Centro tecnológico de automatización industrial
Nivel de confianza	Nivel de confianza del 90% y error \pm del 10%
Tipo de encuesta	Entrevista realizada personalmente en papel
Diseño de la muestra	Para determinar el tamaño de la muestra se tuvieron en cuenta los 300 estudiantes que estudian en promedio semestralmente en el CTAI. Como no se conoce el porcentaje de personas que están interesadas en el proyecto se tomó la probabilidad de éxito y fracaso como del 50%.

Encuesta de trabajo de grado para estudiantes:

Objetivo: El objetivo de esta encuesta es recopilar información de los estudiantes que reciben clase en el CTAI principalmente en el FMS para así poder definir el punto de vista de estos usuarios sobre la implementación de un AGV y el impacto que tendría en el CTAI.

1. ¿Qué materia está cursando actualmente en el Centro tecnológico de automatización industrial (CTAI)?

2. ¿Considera que el sistema de manufactura flexible del CTAI es un sistema en el cual todas las estaciones de trabajo están integradas para funcionar automáticamente? (Tenga en cuenta la banda transportadora, el almacén, el robot melfa, el torno CNC, el centro de mecanizado, la fresadora industrial y las MPS)

SI ___ NO ___

¿Por qué?

3. Si su respuesta anterior fue NO, ¿Cree que un nuevo sistema de transporte podría ser la solución para poder integrar todas las áreas de trabajo?

SI ___ NO ___

4. ¿Sabe usted que es un vehículo guiado automáticamente (AGV)?

SI ___ NO ___

5. ¿Le parece una buena opción de implementación para el Centro tecnológico de automatización industrial?
-

6. ¿Conoce de alguna empresa en donde se haga uso de estos?

SI ___ NO ___

¿Cuál?

7. ¿Para qué tipo de tareas cree usted que podría servir un AGV en el FMS del CTAI?
-

8. Hablando sobre el diseño. Mencione 3 características básicas que debería tener un AGV para el CTAI.
-

9. ¿Piensa usted que los servicios del CTAI se deben expandir a asignaturas de posgrados y doctorados para la realización de investigaciones más avanzadas?

SI ___ NO ___

10. Si su respuesta fue SI, ¿Cómo puede ayudar el AGV a que esto se logre en el CTAI?

11. ¿Qué actividades le gustaría realizar con un tipo de tecnología como esta?

12. ¿Qué inconvenientes encuentra en una posible implementación como esta?

COMENTARIOS SOBRE LA ENCUESTA, EL AGV O EL FMS

La encuesta anterior es una encuesta de complemento en donde los estudiantes usuarios del CTAI entran a definir los aspectos del AGV desde su punto de vista. Esta encuesta debe tomarse como base para la continuación del proyecto ya que son los estudiantes los usuarios más valiosos del laboratorio y los que definen que es valor agregado para su educación.

12 BIBLIOGRAFIA

- Camarena García, JF. (2009). Análisis cinemático, Dinámico y control en tiempo real de un vehículo guiado automáticamente. Tesis de maestría en ciencias para la obtención del grado de maestría en ciencias en ingeniería meca trónica, centro nacional de investigación y desarrollo (CENIDET), departamento de meca trónica, Cuernavaca, Morelos, México.
- Goto, Y. & Stentz, A. (1987) Mobile Robot Navigation: The CMU System. IEEE Expert, Vol. 2, 44-55.
- Koo, P., Jang, J., & Suh, J. (2004). Estimation of part waiting time and fleet sizing in AGV systems. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 16(3), 211-228.
- ANÓNIMO. (2003). Material Handling and logistics. Trade Journal, 4-58.
- BADENAS CARPIO, J. SANCHIZ MATRI, 2006. Athenea: Sistemas industriales de múltiples vehículos autónomos guiados por láser, castello de la plana: de la Universitat Jaume I, D.L.p.20-35.
- Trebilcock, Bob. Modern Materials Handling 57. 14 (Dec 2002): 29-33, Science journals – agvs take on a new look.
- Lorie King Rogers. Modern Materials Handling 64. 11 (Nov 2009): 32, Science Journals – automatic guided vehicles evolve.
- Bawa, H.S, (2007). Sistemas de vehículos guiados automáticamente (pp.550-557). Sistemas de manufactura flexible. (Pp.558-565).
- Mondragon, I. (2012). *Automatic guided vehicle*. Presentacion enfocada a los estudiantes de manufactura flexible de la Pontificia Universidad Javeriana.
- Goldratt, E. (2003). *La meta* (Doceava edición). Monterrey. Mexico
- Gerencia y negocios en hispanoamerica. www.degerencia.com

- Manual del robotino. FESTO
- Manual del material texapon utilizado en el FMS. Disponible en el CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.
- Manual del Cristalan 809. (2001). Disponible en el CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
- Manual del Ultrapol. Disponible en el CENTRO TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
- Alonso, A. (2011). *El buen rumbo de los vehículos guiados*.
- Lyrstand, M., Llompart, J. (14 de dic 2005). *Estado del arte de los equipos de manejo de carga: Proyecto IPSI*. (Pg. 92 – 98).
- Bawa, H.S, (2007). *Sistemas de vehículos guiados automáticamente* (pp.550-557).
- Goldratt, E, (1985). *La Meta*.
- Ronald, J. Hnery, L. (1995). *Design and operational control of an AGV system*. University of twente.
- Kun – Hsiang, W. Chin – Hsing, C. Juing – Ming, K. (1998). *Path planning and prototype design of an AGV*. Chang gung University.
- Levitin, G. Abezgaouz, R. (2001). *Optimal routing of multiple – load AGV subject to LIFO loading constraints*. The Israel Institute of Technology.
- Ben – Daya, M. (1995). *FMS short term planning problems: a Review*. University of petroleum and minerals, Saudi Arabia.
- Tsumura, T. (1995). *Automated Guided Vehicles in Japan*. University of Osaka.
- Le – Anh, T, Koster, M. (2003). *A review of design and control of automated guided vehicle systems*. RSM Erasmus University, Netherlands.

- Iris, F. (2003). *Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems*. School of economics and business administration, Amsterdam.
- Azaran, M., García, E., Mc Graw Hill. *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. México D.F.
- Empresas productoras de AGV's que sirvieron como consulta:
 - http://www.festo.com/cms/es-co_co/index.htm
 - <http://www.system-agv.com/ita/>
 - <http://www.tcm.co.jp/english/>
 - <http://www.skilledrobots.com/prodotti.jsp?idLingua=37>
 - http://www.votex-bison.com/Scout_eng.html
 - <http://www.dematic.com/agv-systems>
 - <http://www.seegrid.com/solutions/long-haul.html>
 - <http://www.adept-technology.fr/produits/robots-mobiles/plates-formes-mobile/mt400/general>
 - <http://www.mhia.org>

13 ANEXOS

Anexo 1. Encuesta

Caracterización de un AGV (Vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible; caso centro tecnológico de automatización CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana.

Encuesta de trabajo de grado para profesores:

Objetivo:

Con esta encuesta se desea adquirir la información adecuada brindada por los usuarios con el fin de aplicarla a nuestro trabajo de grado.

1. ¿Sabe usted que es un Vehículo Guiado Automáticamente (AGV)?
SI_ NO_

2. ¿De las funciones listadas del AGV, cuáles cree usted que se pueden aplicar en el CTAI?
 - _ Carga y descarga de material pesado
 - _ Carga y descarga de material liviano
 - _ Transporte de material por pasillos
 - _ Arrastre de contenedores
 - _ Integración con el sistema integrado de manufactura flexible
 - _ Elevación de carga
 - _ Movimiento de pallets

3. ¿Teniendo en cuenta las funciones anteriores, lo consideraría como una buena herramienta para el CTAI?
SI_ NO_

4. ¿Cree usted que se puede articular con las diferentes estaciones del CTAI?
¿Cuáles?
SI_ NO_

5. ¿Con el AGV, liste el tipo de actividades que podría realizar con sus estudiantes?

6. ¿Qué inconvenientes se tendrían en una futura implementación de un AGV en el CTAI?

Realizada por: Paula A. Escobar y Juan M. Echeverri

Anexo 2. Simulación del AGV en el CIM

Ver CD 1 para proceso actual y 2 para proceso propuesto

Anexo 3. Programación del robot. Brazo robótico y AGV

Ver CD 2