

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN, ELECTRÓNICA
Y MECATRÓNICA



Reporte final

LRT4102-01

Equipo 3

164129 Juan Pablo Morales González
163921 Jose Eduardo Vazquez Salinas
162130 Jose Daniel Moreno Serrano

A 05/05/2022, San Andrés Cholula, Puebla

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción	1
3. Problemática	2
4. Justificación	2
5. Metodología Empleada	3
6. Descripción Técnica de solución final	6
7. Normatividad aplicable	17
8. Análisis de factibilidad	21
9. Evidencias técnicas	23
10. Conclusiones	23
Referencias	24

1. Resumen

Dentro de este trabajo se abordará diferentes secciones las cuales servirán para entender el proyecto realizado por los estudiantes de último semestre de la carrera de Ingeniería en Robótica y Telecomunicaciones, el cual consiste en la organización, planificación e implementación de un diseño robótico enfocado a un restaurante inteligente, más específico, a una pizzería automatizada. Dicho proyecto es abordado por medio de simulaciones y creaciones de modelos 3D en diversos softwares vistos a lo largo de la carrera como en este nuevo curso.

Además, presentarán los retos que tuvieron que afrontar desde las fases iniciales del proyecto, como el enfoque deseado, junto a los beneficios que traería este diseño al mundo real, su factibilidad, ventajas y desventajas de este. También mencionando la metodología empleada para la gestión de su proyecto, ya que está sería su base para los tiempos requeridos y aportaciones de cada uno de los integrantes al proyecto a lo largo de este semestre dentro y fuera de los horarios de la materia.

2. Introducción

Este trabajo muestra la unión de herramientas colaborativas con entornos de desarrollo experimentales para dar paso a una solución en el área de comida rápida, con el propósito de estudiar las soluciones y los ambientes de simulación con un acercamiento y pensamiento en la forma de construir y volver eficientes los procesos de preparación y entrega de alimentos, se presenta también nuestros esquemas de trabajo así como los procesos y etapas de desarrollo de ambas soluciones, además de conjuntar todo el trabajo realizado por medio de la demostración. Cuando planteamos este proyecto quisimos observar y analizar los alcances que tendrían ambos softwares de desarrollo siendo Roboguide de FANUC y Gazebo con ROS esto con la idea de encontrar la forma de que ambos puedan coexistir para dar respuesta a un solo proyecto y que cooperen en un mismo entorno gracias a las debilidades y fortalezas de cada uno. En el panorama actual se presentan retos donde la respuesta es la integración de robots para realizar algunas tareas, sin embargo los límites éticos se ven difusos al existir un evidente reemplazo de mano de obra humana por tecnología, así debemos de ser conscientes como estudiantes y conocer nuestro panorama actual y el área donde pensemos intervenir con una propuesta de integración más adelante se abordarán diferentes aspectos y puntos de vista que complementan el desarrollo de una herramienta que sirve como asistente de cocina.



Figura 1: KFC con robots por la pandemia (America retail, 2020)



Figura 2: Robot poliarticulado en Caliburguer (Melgarejo, 2020)

3. Problemática

Es bien sabido que el sector alimenticio abarca un gran porcentaje de fuentes de empleo, y que con la llegada de equipos automatizados algunos puestos se han visto afectados al tener que reducir su porcentaje de oferta de empleo, si bien esto ocasiona problemas en la mayoría de los países, nos centraremos en un caso de estudio donde ha surgido una problemática concreta gracias a la pandemia, y es la tendencia ocurrida en Estados Unidos la cual consiste en la falta de empleados en el sector alimenticio, si analizamos las causas encontraremos varios factores, como se mencionó anteriormente el principal es el riesgo de la pandemia y la sanidad, adicionado a esto se encuentran los bajos salarios, jornadas laborales extensas, los constantes apoyos del gobierno para personas desempleadas, y la más importante la alta demanda de trabajos en línea, que traen consigo horarios flexibles comodidad y seguridad, si bien dichos trabajos todavía deben de entrar en regularidades, las personas muestran un mayor interés y confiabilidad en ellos haciendo que vayan a la alta y por la parte de las compañías estas han preferido manejar áreas descentralizadas y así contratar personal extranjero sin que esto implique un gasto excesivo. Así lo que se plantea es una respuesta a una problemática que apenas comienza a surgir y que su alcance será rápido y masivo, puesto que más gente preferirá oportunidades de trabajo en casa con esto podrá organizar sus tiempos para distribuir entre proyectos personales, trabajos, pasatiempos y relaciones sociales.

4. Justificación

Para poder abordar la justificación de nuestro proyecto es necesario entender cómo ha evolucionado la industria además de cómo se han incrementado las oportunidades laborales al crear diferentes campos de acción. Así entendemos el camino que ha recorrido la tecnología, ya que, si podemos encontrar que la tendencia recae en la importancia de la implementación de la tecnología en los procesos de producción y manufactura, este panorama lo han descrito autores y expertos en el tema lo que permite que podamos revisar y analizar su postura ante el cambio continuo. Con esto en mente se destaca el trabajo del analítico financiero Luis Vincent Grave que realiza la segmentación de los tipos de trabajo lo que nos servirá para remarcar la importancia de la evolución e implementación la tecnología (Robots) en diferentes sectores de empleo:

Ni repetitivos ni complejos:, es la primera categoría y abarca las capacidades y experiencia de una persona para desarrollar su sentido de creatividad, intuición e improvisación para

realizar su empleo u oficio este sector es muy grande y no se encuentra en pronta sustitución e implementación de robots.

No repetitivos y complejos:, la segunda categoría que se caracteriza por concentrar a las ciencias exactas, así como a las ingenierías entre otras, caracterizadas por una amplia comprensión de métodos y la implementación de conocimientos por medio de la innovación, la tendencia evade completamente este campo puesto que no hay una implementación pronta de máquinas auto replicantes.

Repetitivo y complejo: la tercera categoría se caracteriza por exponer a las personas a un peligro o altos niveles de estrés. la parte repetitiva se caracteriza por rutinas protocolarias que se desarrollan en el escenario de trabajo, esta área es la más estudiada por aquellos que pretenden introducir herramientas robóticas pues estará en tendencia futura.

Repetitivos y simples: en la última categoría nos encontramos con los trabajos que actualmente se encuentran en una incertidumbre alta puesto que ya ha comenzado la introducción de los robots a este tipo de puestos, como su nombre lo indica son empleos rutinarios y con un riesgo mínimo.

Una vez abordada la segmentación de empleos es nuestra tarea ubicar el sector al que pertenece nuestro proyecto, si evaluamos las características que se presentan claramente los empleos de comida rápida pertenecen al cuarto sector. Sabiendo esto debemos entender también el ambiente de la empresa y se ha demostrado que la adecuación de robots en entornos populares tenido un gran éxito entre empresas y clientes ya que se crea una idea que agrega valor al negocio, empresa o industria que, apuesta por una modernización hacia su equipo, incrementando el consumo de los usuarios, debido a que se generan experiencias entre el cliente y el lugar al ofrecer una perspectiva única. Con esto podemos asegurar que la implementación pronta de un sistema de preparación de alimentos (pizzas) tendría un incremento en los procesos de producción, sanidad y la venta del producto.

Procederemos a abordar ejemplos de éxito que nos permiten comparar y evaluar el escenario de comida rápida mediante ejemplos del éxito sobre la introducción de robots a un ambiente de comida rápida, comenzaremos por nombrar el restaurante “Roboeatz”, su modelo tiene como particularidad el que el cliente pueda observar cómo su pedido es elaborado con el fin de captar más clientela, operando desde 2009 el negocio procura la eficiencia y optimización de la elaboración de pedidos y sin descuidar a su clientela, este restaurante ha servido como ejemplo sobre que en los últimos años se han replanteado todos los esquemas de trabajo, educación y convivencia, con esto en mente numerosos establecimientos toman la idea de adoptar la tecnología como factor decisivo y contrapunto a destacar para igualar o superar a su competencia, arraigando la idea de compromiso en la higiene y el contacto entre personas ya que supone un compromiso para que la empresa pueda mantener su negocio. Otros ejemplos a mencionar son Sally, BreadBot y Flippy, sin mencionar que KFC, Pizza Hut y Taco Bell las más comprometidas con la integración robótica, así comprobamos que no sólo se tratan de casos aislados, sino que cada uno está apostando por diferentes platillos en varios países como Estados Unidos, Francia y Reino Unido.

5. Metodología Empleada

Para el desarrollo de las diferentes actividades de este proyecto se optó por emplear la metodología Agile. Esta consta en que cada proyecto se ‘trocea’ en pequeñas partes que tienen que

completarse y entregarse en pocas semanas, siendo el objetivo principal el desarrollar productos y servicios de calidad que respondan a las necesidades de unos clientes cuyas prioridades cambian a una velocidad cada vez mayor. Las principales ventajas de Agile, pueden englobarse de la siguiente manera:

Mejora la calidad: Minimiza los errores en los entregables y mejora la experiencia y las funcionalidades para el cliente.

Mayor compromiso: Mejora la satisfacción del empleado y genera conciencia de equipo.

Rapidez: Acorta los ciclos de producción y minimiza los tiempos de reacción y toma de decisiones.

Aumento de la productividad: Al asignar mejor los recursos, y de forma más dinámica, mejora la producción según las prioridades que tenga la empresa.

Además, vale la pena mencionar que los principios y valores en los que se basan las metodologías ágiles tienen como principal característica realizar entregas rápidas y continuas de software funcionando (por lo general esta metodología se da en ambientes de proyectos de software).

Otro de los rasgos más característicos de Agile es el de emplear equipos multidisciplinarios que trabajen juntos durante todo el proceso. Por poner un ejemplo, el responsable del marketing puede dar feedback de cómo está resultando el producto final al técnico que está realizando una tarea concreta. De esta manera, y junto con las entregas más rápidas, tempranas y frecuentes, el producto resultante es exactamente lo que el mercado está demandando [XV].

Con estas características a consideración permitieron a los estudiantes trabajar de manera óptima en el desarrollo de propuesta de solución robótica; puesto que, se ajusta de manera propia a los tiempos designados para la materia en cuestión, junto a los limitados espacios de tiempo libres de cada uno de los miembros del equipo durante su estancia en el semestre. Además, debido a que solo participan 3 miembros en este equipo tuvieron que cumplir múltiples roles tanto al momento de diseñar su apartado técnico, como tareas administrativas y de investigación del proyecto; resultando en una desventaja considerable para un proyecto semestral. Sin embargo, se lograron ejecutar cada una de las tareas en tiempo y forma y en lapsos cortos, pero continuos, otorgando versatilidad en las habilidades de cada uno de los miembros presentes. A continuación, se presentarán dos diagramas realizados en el software de Microsoft Project (el cual sirvió para gestionar las actividades designadas); el primero siendo un diagrama de Gantt (figura 3) que permite visualizar el desarrollo de las actividades a lo largo de estos 3 meses; mientras que la figura 4 es una tabla con las actividades designadas de manera grupal e individual, así como las fechas de inicio y fin junto con el tiempo que llevo realizarlas.

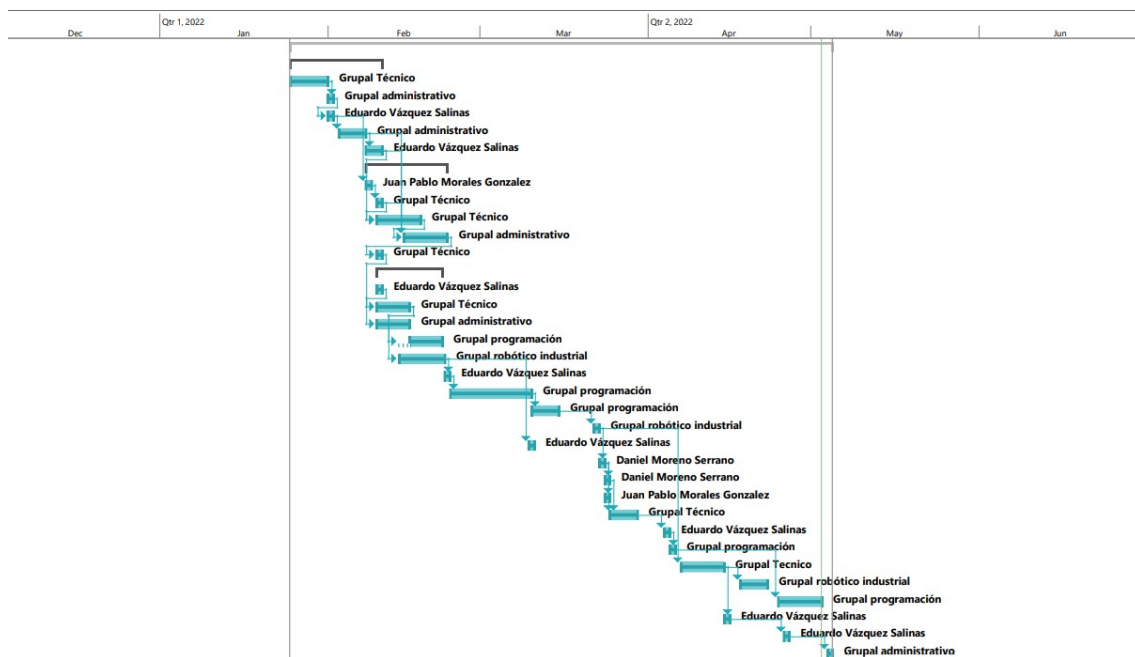


Figura 3: Diagrama de Gantt para realización de proyecto Pizzería Autónoma.

ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecesor
0	✓	Robotic systems design actual	72 days	Tue 25/01/22	Wed 04/05/22	
1	✓	Organización preliminar	13 days	Tue 25/01/22	Thu 10/02/22	
2	✓	Recopilación de ideas	5 days	Tue 25/01/22	Mon 31/01/22	
3	✓	Proposición de proyecto	1 day	Tue 01/02/22	Tue 01/02/22	2
4	✓	Minuta 1	1 day	Tue 01/02/22	Tue 01/02/22	3
5	✓	Selección de horarios	3 days	Thu 03/02/22	Mon 07/02/22	4
6	✓	Revisión de metodologías	3 days	Tue 08/02/22	Thu 10/02/22	5
7	✓	Recopilación de recursos	11 days	Tue 08/02/22	Tue 22/02/22	
8	✓	Solicitud de licencias Project y SW	1 day	Tue 08/02/22	Tue 08/02/22	4
9	✓	Instalación de Project y SW	1 day	Thu 10/02/22	Thu 10/02/22	8
10	✓	Investigación de softwares	6 days	Thu 10/02/22	Thu 17/02/22	9,6
11	✓	Estructuración tentativa	6 days	Tue 15/02/22	Tue 22/02/22	10,5,6,9
12	✓	Instalación Ubuntu	1 day	Thu 10/02/22	Thu 10/02/22	11
13	✓	Plan de trabajo formal	8 days	Thu 10/02/22	Mon 21/02/22	
14	✓	Minuta 2	1 day	Thu 10/02/22	Thu 10/02/22	
15	✓	Organización técnica	4 days	Thu 10/02/22	Tue 15/02/22	12
16	✓	Planificación de etapas	4 days	Thu 10/02/22	Tue 15/02/22	14
17	✓	Cursos básicos Intelligi	4 days	Mon 14/02/22	Mon 21/02/22	15
18	✓	Protipo de celda en Roboguide	6 days	Mon 14/02/22	Tue 22/02/22	15
19	✓	Minuta 3	1 day	Tue 22/02/22	Wed 23/02/22	18
20	✓	Introducción a ROS-Gazebo	11 days	Wed 23/02/22	Thu 10/03/22	19
21	✓	Simulación Gazebo	3 days	Thu 10/03/22	Tue 15/03/22	20
22	✓	Detalles finales Roboguide	1 day	Tue 22/03/22	Tue 22/03/22	21
23	✓	Minuta 4	1 day	Thu 10/03/22	Thu 10/03/22	18
24	✓	Bosquejo escena final	1 day	Wed 23/03/22	Wed 23/03/22	22
25	✓	Bosquejo complemento a robot	1 day	Thu 24/03/22	Thu 24/03/22	24
26	✓	Busqueda normas de cocina	1 day	Thu 24/03/22	Thu 24/03/22	24
27	✓	Revisión turtlebot	3 days	Fri 25/03/22	Tue 29/03/22	24,25
28	✓	Minuta 5	1 day	Mon 04/04/22	Mon 04/04/22	27
29	✓	Actividad URDF	1 day	Tue 05/04/22	Tue 05/04/22	28
30	✓	Selección de complementos	6 days	Thu 07/04/22	Thu 14/04/22	22
31	✓	Elaboración de planos EPLAN	5 days	Mon 18/04/22	Fri 22/04/22	30
32	✓	Escenarios ROS	6 days	Mon 25/04/22	Mon 02/05/22	29
33	✓	Minuta 6	1 day	Fri 15/04/22	Fri 15/04/22	30
34	✓	Minuta 7	1 day	Tue 26/04/22	Tue 26/04/22	33
35	✓	Cierre reporte final y carpeta	1 day	Wed 04/05/22	Wed 04/05/22	34

Figura 4: Diagrama de Gantt para realización de proyecto Pizzería Autónoma.

6. Descripción Técnica de solución final

En el siguiente esquema, se muestra brevemente las etapas llevadas en el proyecto para la solución final:



Figura 5: Esquema de trabajo

Para brindar una solución óptima a nuestro problema previamente mencionado, se optó por usar dos softwares diferentes enfocados al manejo de robots. El primero siendo RoboGuide de la marca FANUC para centrarse en el sector industrial, mientras que el otro software, ROS/Gazebo, enfocado a un entorno más convencional y, por lo tanto, de más fácil acceso para los estudiantes con enfoque en robots más sencillos, como los móviles.

Material empleado

- Solidworks: Desarrollo de herramental para robot móvil
- Catia: Creación de elementos para celda robótica
- Roboguide: Elaboración de celda robótica
- EPLAN: Implementación tentativa de un esquema eléctrico de celda
- ROS-Gazebo: Instauración del robot móvil

Primeramente, se elaboraron los elementos CAD de la celda robótica teniendo en cuenta las siguientes características del robot tomadas de la hoja técnica del robot que se muestra a continuación

Controlled axes	Pose Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]	J5 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]	J6 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.023*	210	340/360	240	303	400	290	540	205	205	260	415	415	880	51/2.2	51/2.2	31/1.2

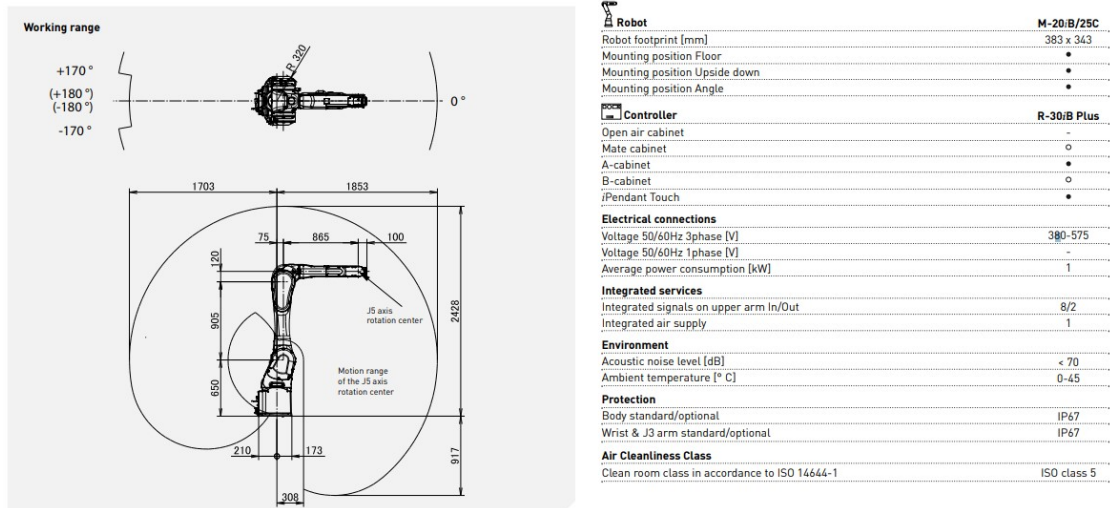


Figura 6: Descripción técnica M-20iB/25C (FANUC UE, 2022)

Por lo cual conociendo el work space del robot de la hoja técnica, se diseñó una primera estación de trabajo para la recepción de las pizzas de 2751 mm de largo por 1000 mm de ancho a una altura de 965 mm, el cual llevaría consigo una charola estándar de prueba de 605 mm de largo por 500 mm de ancho la cual manipularía el robot con un arreglo al gripper. Como segunda estación se incluye dos hornos que pueden ser remplazados por uno de mayor capacidad y de otro formato, dicha estación lleva un formato rectangular de 872 mm de altura con 3479 mm de largo por 1813 de ancho que incorpora en su parte superior los hornos. Las características primarias del horno es que la cobertura cuenta con 734 mm y una profundidad de 902 mm, estas prestaciones permitirían al usuario final contar con las capacidades de manejar diferentes tamaños de pizza y tener niveles dentro del mismo horno si fuese necesario para aumentar la demanda de producción con diferentes arreglos de charolas. Finalmente, se asiste el funcionamiento del robot con un sistema de visión de la misma marca que puede ser emulado dentro del mismo software por lo cual se creó una estructura fija para el sistema en forma de puente con una altura de 1977 mm, 3120 de largo y 750 mm de ancho.

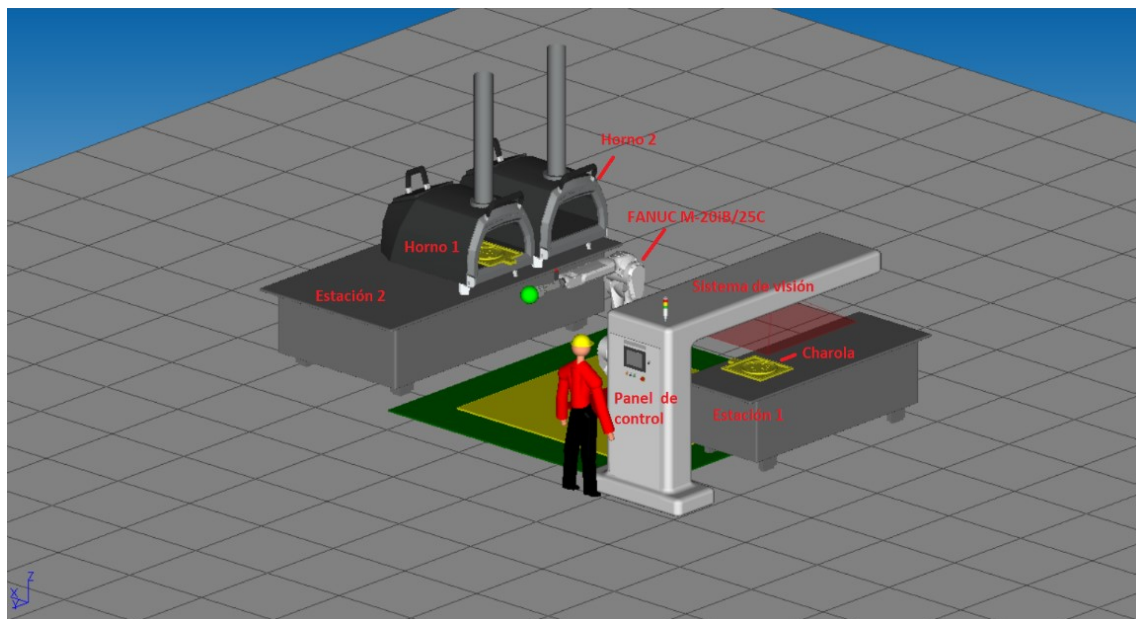


Figura 7: Celda implementada

Para configurar al sistema de visión se ocupó iRVision con una cámara de color para la detección de la pieza. Asignando los parámetros correspondientes de calibración con ayuda de un rack de puntos.

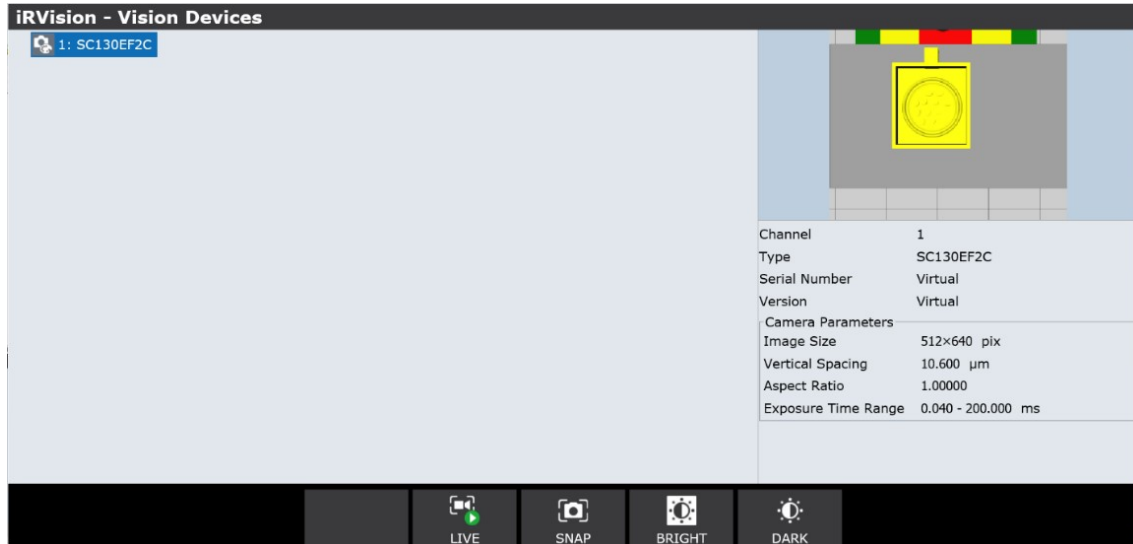


Figura 8: Conexión de robot a iRVision

En la siguiente imagen se configura la conexión al sensor con una exposición aproximada a la pizza para su detección y la asignación del rack.

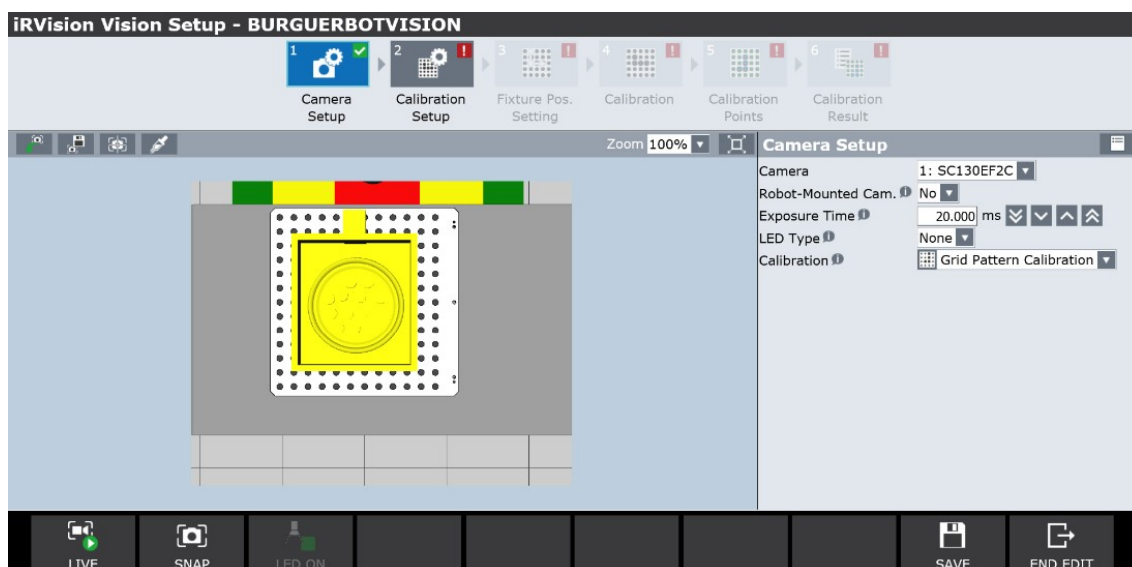


Figura 9: Configuración de cámara

Posteriormente se asigna el espacio de la tabla como sistema de referencia para la cámara y se crea el VisionFrame que servirá para indicar al robot mediante el teach pendant hacia donde realizara los movimientos una vez vea la pizza. Por lo cual se hace la calibración de la guía como resultado final para el sistema de visión.

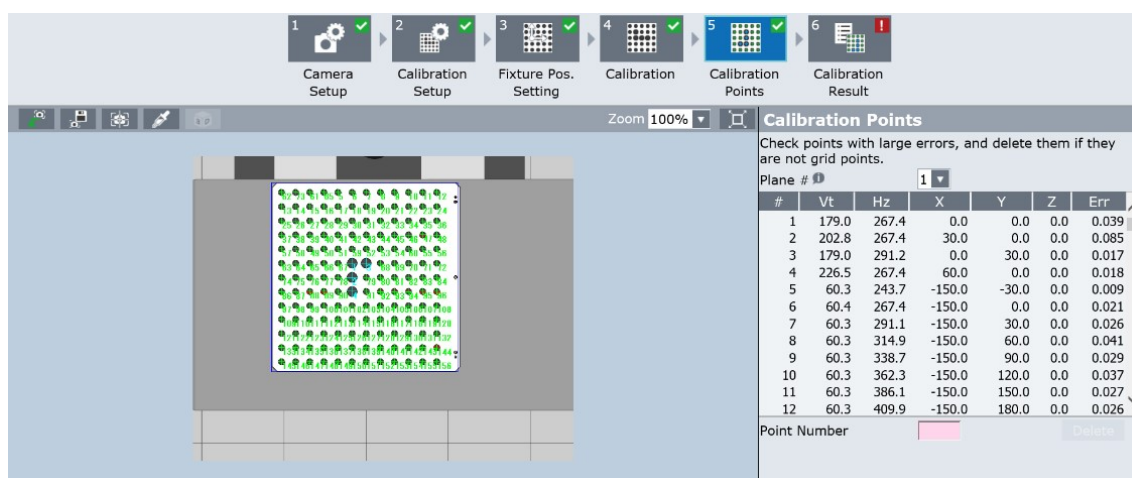


Figura 10: Calibración de referencia

La rutina de trabajo, se compone de posiciones establecidas para el Home del robot. Y con las variables creadas del Vision Frame, por el cual se recopilan los datos del sistema de visión como coordenadas definidas para el inicio de agarre de la pieza. Esto ayuda a detección de múltiples pizzas en un escenario de alta demanda y no dependa de una posición definida por el usuario permitiendo adaptabilidad eficiente. Por lo cual se añade exitosamente el sistema de visión al robot, se complementa con programas de simulación terminando el ciclo de trabajo.

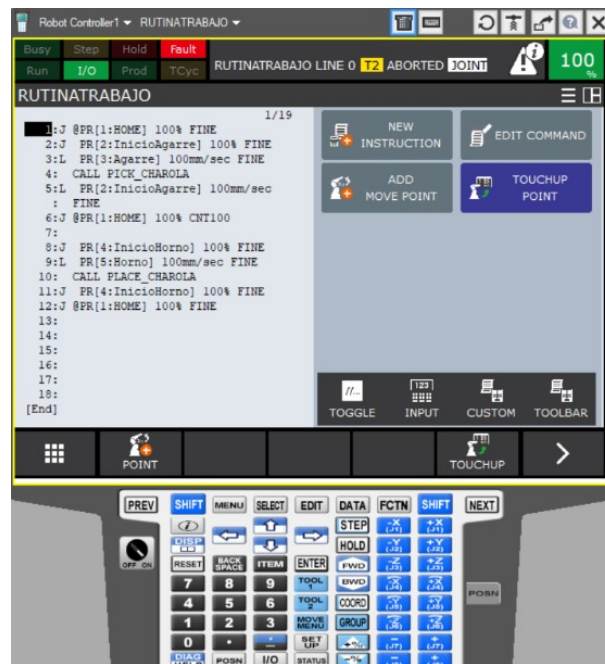


Figura 11: Programa principal compuesto de subrutinas y configurado al sistema de visión

Además de la implementación de la celda, se ha elaborado a manera de anexo la propuesta de implementación física con un PLC Siemens de la familia 300 que puede mejorar a 1200 en un futuro acorde al presupuesto del usuario final. La inclusión de un PLC permitiría conexiones entre dispositivos del sistema de visión, sensores, inclusión de otro equipo para una secuencia de trabajo, así como un HMI para el operador. Por lo que el siguiente diagrama elaborado en EPLAN proporciona una mejor idea de la puesta en marcha física.

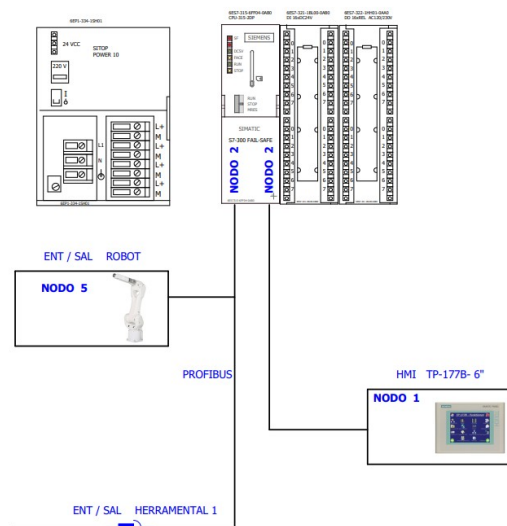


Figura 12: Esquema de conexiones

Por lo cual, se siguiendo el esquema de anexo se propone de forma ilustrativa el siguiente diagrama Ladder para la comunicación del robot al PLC.

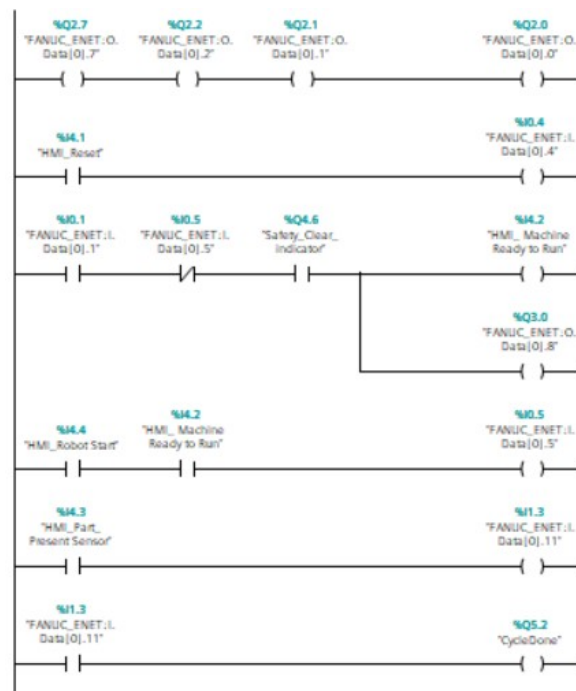


Figura 13: Esquema de comunicación del PLC

Se adiciona en la propuesta técnica el L100-P3C3-M20-MLM24 - Micro de seguridad con enclavamiento el cual pone a la celda la integración en seguridad para el apartado de control con reducción de corriente al tener las barreras de seguridad que se complementan con la opción de fenceless de la marca robótica. Finalmente, este apartado también protege al robot móvil al momento que tenga que acercarse a recibir el pedido para llevar a la mesa del cliente.

Pasando al apartado robótico móvil, la solución ideal contemplaba un robot móvil grande de tamaño similar a los carritos de servicio que usan las azafatas. Este concepto permitiría al cliente el recibir su orden pensada por el momento hacia las pizzas, pero podría entregar bebidas y demás con asistencia de la celda haciendo mas tareas en la rutina de trabajo. Sin embargo, por falta de recursos de opto por escalabilidad emplear el turtlebot.



Figura 14: Concepto base del robot móvil

Pasando al apartado de ROS/Gazebo, este constaría del uso del segundo robot (móvil), el cual buscaría solucionar el problema de repartir los pedidos de comida de manera autónoma a los clientes del establecimiento. Para las pruebas de este robot serían basadas en el modelo Turtlebot3 Waffle Pi, operado por Gazebo. Dichas pruebas se llevarían a cabo por medio de simulaciones en el software de Gazebo (máquinas virtuales con Ubuntu en cada equipo personal) y algunas pruebas con equipo físico que contaba la institución. Siempre estando a cargo de observar los ejercicios y ejemplos propuestos para ayudar a comprender el comportamiento de Gazebo y todo lo relacionado al software de ROS y Ubuntu.

Lo siguiente por mencionar es el uso del Robot Turtlebot 3 Waffle Pi dentro de nuestra solución robótica. Como primera instancia, vale la pena mencionar que se tuvo que aprender el funcionamiento de ROS por medio de la instalación de máquina virtual con sistema operativo Ubuntu. Posterior a ello, se realizaron varias pruebas y ejemplos que permitieran la familiarización con el sistema operativo, comprendiendo desde el lenguaje que maneja, como el catkin workspace de este (que vendría siendo la carpeta de arranque donde se almacenaría el sistema launcher de ROS); así como ejemplos de modelado y creación de diseños URDF que permiten conocer el funcionamiento de los eslabones formados por diferentes tipos de robots para ser cargados al ambiente de simulación.

Sin embargo, el aporte más importante hecho fue la aplicación y simulación de robot móvil, siendo un gran aditamento dentro de la solución robótico-planteada. Gracias a la aplicación de Gazebo dentro de ROS fue posible visualizar y comprender dentro de un escenario realizado por los alumnos el comportamiento que el Turtlebot tendría dentro de un ambiente de cocina, aunque presentando ciertas limitantes dentro del mismo, como lo son sus dimensiones a escala, así como otros factores no programables dentro de la simulación, pero contando con una idea general y eficiente que sirve para resolver la propuesta planteada.

El trabajo con gazebo para intentar simular nuestro entorno de trabajo se vio entorpecido por fallos internos tanto de la máquina virtual en general, como de la misma aplicación de gazebo que cerraba inesperadamente sin guardar los cambios al ambiente, además como se observa en la figura 14, al terminar de diseñar el ambiente y pasarlo a un mundo, este se modificaba con errores en la colocación de algunos objetos como ventanas y puertas.

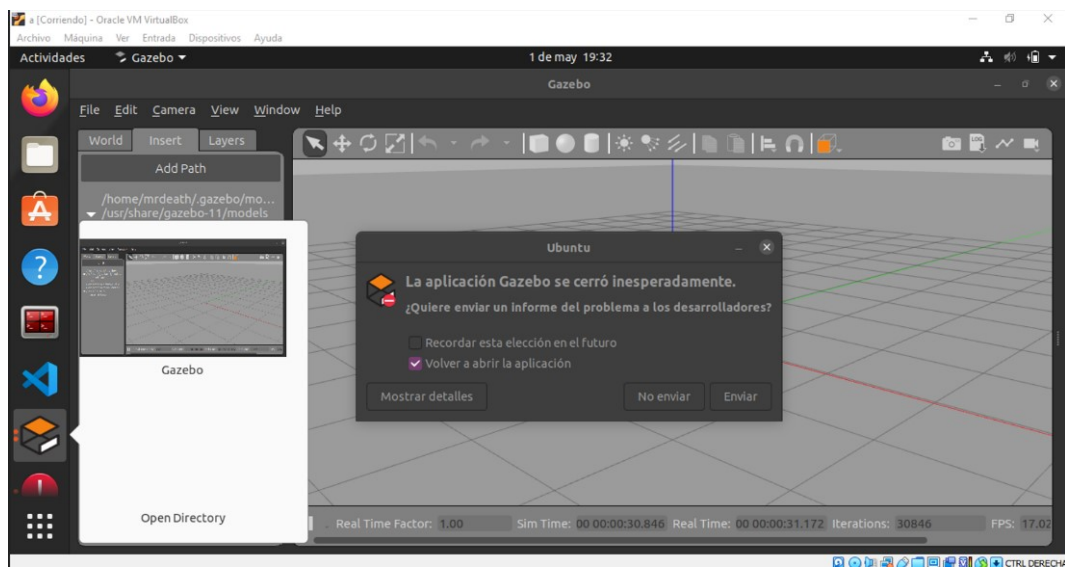


Figura 15: Error repentino en el entorno Gazebo

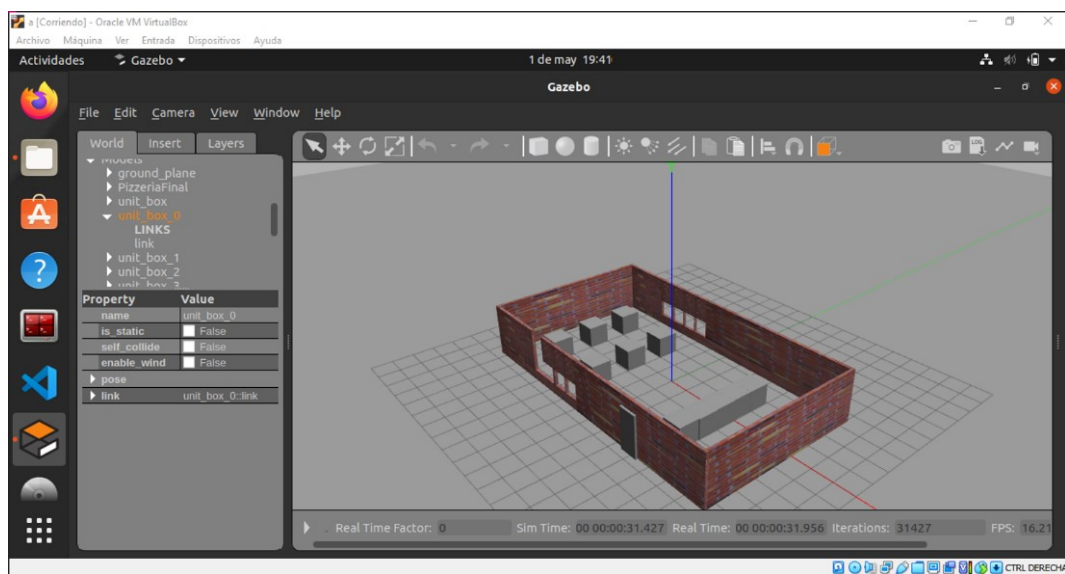


Figura 16: Entorno completo Gazebo

El principal inconveniente para implementar nuestro ambiente fue el error de la máquina virtual al no mostrar la ventana emergente para guardar el mundo creado para poder hacer aparecer al turtlebot3 y hacer pruebas de simulación y adaptación, este error estuvo presente en los equipos computacionales de todos los integrantes del equipo así que más que un error concreto de gazebo creemos que la resolución podría ser el intentar cambiar la máquina virtual sin embargo por cuestiones de tiempo y disponibilidad se optó por intentar buscar una solución más ortodoxa para esta problemática.

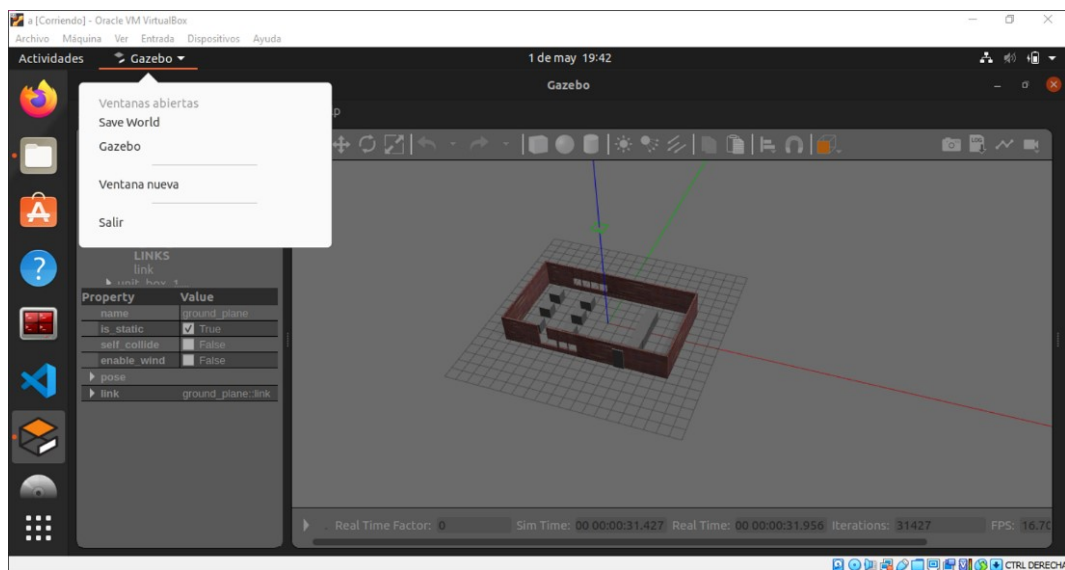


Figura 17: Fallo de la ventana emergente

La primera y más evidente consistía en hacer la búsqueda de la ventana emergente dentro de la barra de tareas, debido a que nos percatamos que si estaba presente dicha ventana en la descripción de gazebo, pero como se muestran en las siguientes imágenes esta no era visible por lo tanto no se podía guardar el mundo y no tendríamos acceso para la simulación.

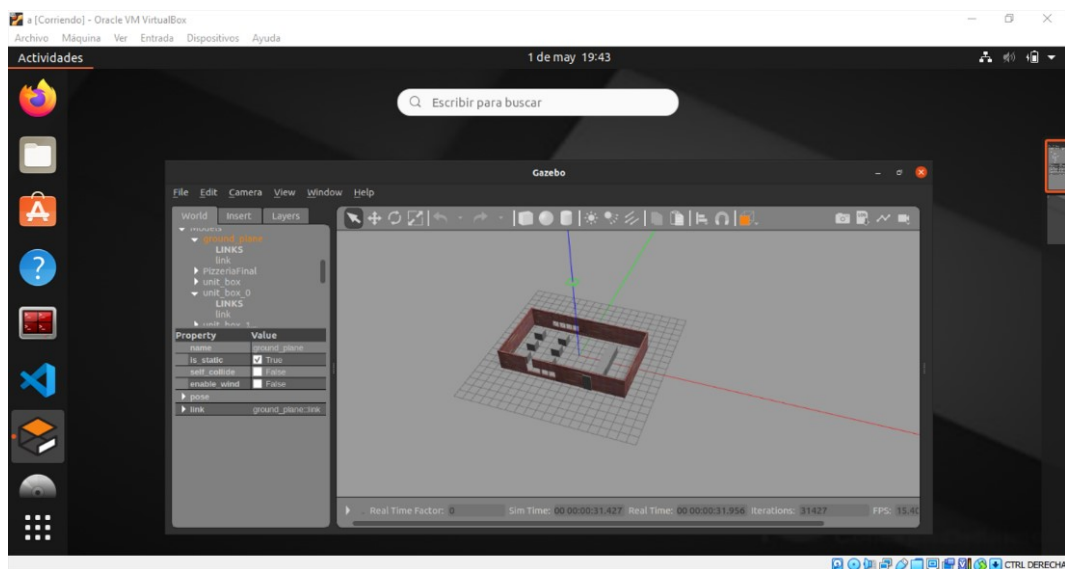


Figura 18: Comprobación mediante la barra de tareas

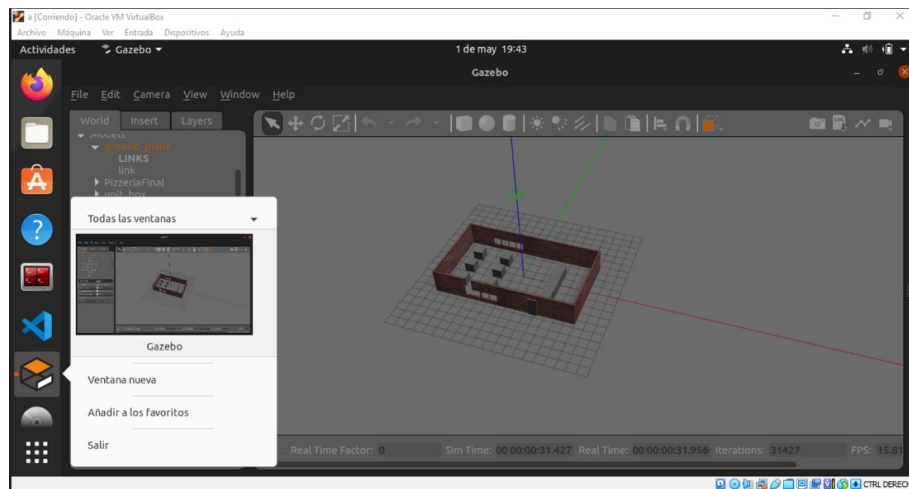


Figura 19: Ventanas de Gazebo

Se intentó modificar un mundo de gazebo ya existente mediante dos opciones la primera utilizar el ambiente del propio turtlebot para nuestro mundo, la siguiente encontrar un espacio que se asemejara a nuestra propuesta, en ambos casos nos encontramos con la problemática de que los modelos no pueden ser editados una vez terminas de construirlos, y al mandar a llamar a otro objeto al mismo mundo el punto de aparición del robot se ve afectado, ya sea que se desplace junto con el ambiente inicial o aparezca en un punto en medio de ambas estructuras. Además de que si modificábamos el mundo este no permitía guardarlo en la ruta deseada debido al mismo problema del entorno, sumado a esto el descargar un programa que asemejara la cocina no dio resultados ya que los ambientes no favorecían ni nuestra área de trabajo ni las opciones de desplazamiento del turtlebot. Como último intento se descargó un paquete de mundos para hacer las pruebas de entrenamiento sin importar que los escenarios no coincidieran, pero el inconveniente surgió en que no se podían mandar a llamar dentro de la ruta de gazebo por un error similar de la ventana emergente, como se muestra en la imagen 20.

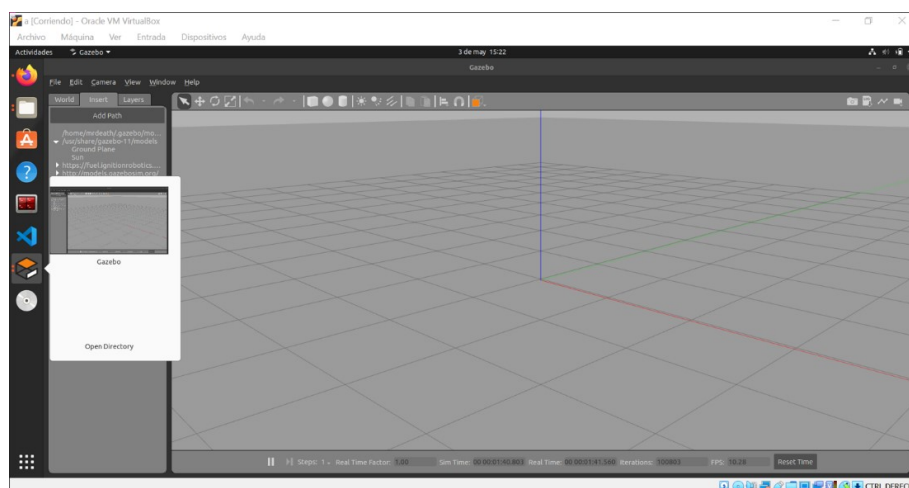


Figura 20: VIntento de modificar un mundo

La decisión que se tomó debido al tiempo de entrega fue demostrar y hacer nuestra propuesta como una oportunidad de mejora, en este caso tomamos el mundo predefinido por gazebo,

y el comando del robot móvil mediante el teclado como demostración de las capacidades del propio entorno, es por esto que decidimos centrarnos en el apartado del brazo robótico. El escenario ideal de nuestro proyecto contaría con el ambiente simulado y la capacidad de autoconducción del robot móvil así se comprendería la integración total de una pizzería totalmente automatizada, pero debido a los constantes errores del programa esto no fue posible, aunque todos los elementos para poder realizarlo fueron ideados e implementados de forma adecuada.

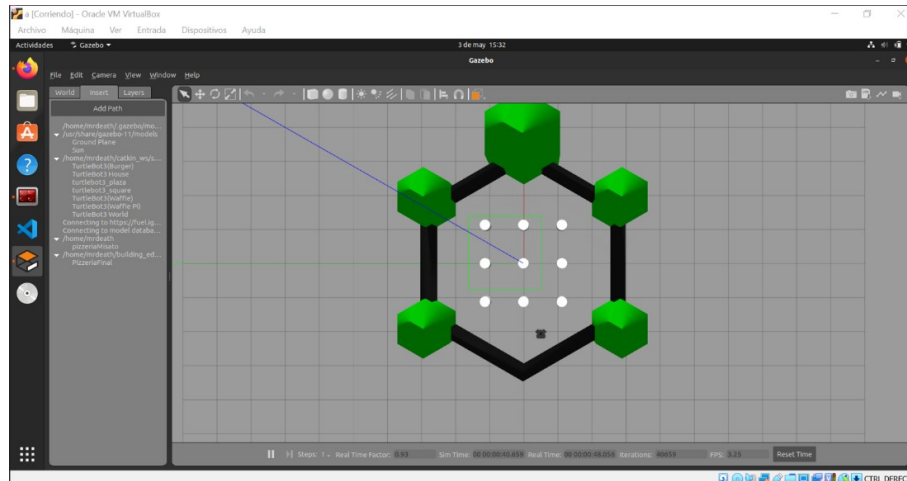


Figura 21: Entorno de turtlebot3 de prueba

Como una oportunidad de aplicación y debido a las constantes fallas de los equipos, se optó por una demostración física debido a que se tenía la oportunidad de ocupar el robot móvil, así reproducimos el circuito de obstáculos que construimos en CAD, dentro del circuito se redujo el número de mesas de 6 a 4 debido al espacio y maniobrabilidad del robot. Así fue como se siguieron las instrucciones detalladas a continuación.

Para comenzar debemos de inicializar los nodos de conexión, el laboratorio cuenta con una PC con la que se tiene que realizar la configuración de la IP tanto del maestro (PC), como del Host (Turtlebot3), así se tiene que asegurarse que las conexiones y rutas fueron adecuadas, para ello se tiene que conocer primero la ruta de acceso, por medio de los comandos con los que podemos definir en el código la dirección apropiada. Una vez establecida la conexión debemos de comenzar el mapeo del ambiente por medio del control remoto y nos generará un ambiente de pruebas, con esto se podría implementar un complejo más detallado del ambiente de simulación. En el siguiente video se encuentra la prueba realizada:

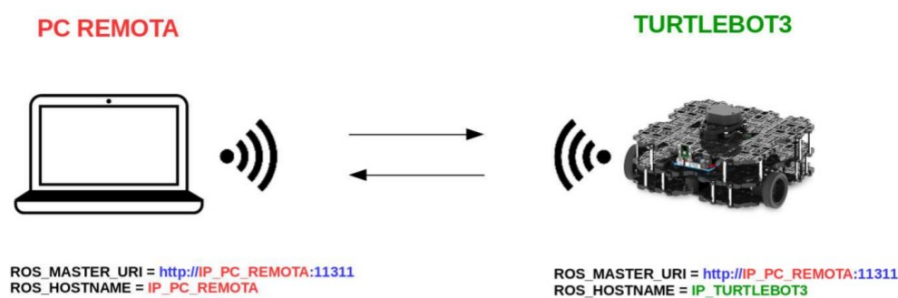


Figura 22: Esquema de conexión de redes

```
$ ifconfig
```

A continuación abrimos una nueva terminal con la combinación de teclas *ctrl+shift+t* e ingresamos el siguiente comando:

```
$ gedit ~/.bashrc
```

Con lo anterior nos abrirá el archivo *bashrc*, nos dirigimos a la parte inferior del mismo y editamos las líneas de código correspondientes de acuerdo a la Figura 1. El siguiente es un ejemplo ilustrativo.

```
export ROS_MASTER_URI=http://140.148.21.195:11311
export ROS_HOSTNAME=140.148.21.195
```

Guardamos los cambios y cerramos el archivo. Por último aplicamos los cambios realizados ejecutando el siguiente comando en la terminal.

```
$ source ~/.bashrc
```

Figura 23: Códigos para inicializar la conexión

7. Normatividad aplicable

Es importante la normatividad que conlleva el uso e implementación de sistema robóticos para temas de calidad, regulación, uso y seguridad principalmente. Se generan por medio de documentaciones para cubrir los puntos anteriores ya mencionados. Se abarco las más importantes normas de México y algunas de las más importantes de las normas ISO.

Normas mexicanas:

Estas normas son las que tienen mucho peso dentro del territorio mexicano, realmente en el sitio web de SEGOB son las únicas que salen para robots industriales que tienen mucha concordancia con algunas normas ISO.

- NMX-J-741-ANCE-2018 Robots manipuladores industriales y dispositivos robóticos-Vocabulario.

Esta norma establece en términos relativos los robots manipuladores industriales y los dispositivos robóticos que operan en entornos industriales y no industriales.

- NMX-J-741-ANCE-2018 tiene concordancia con ISO 8373.SEGOB. (2018).
- Robots manipuladores industriales y dispositivos robóticos-Vocabulario (NMX-J-741-ANCE-2018)
- NMX-J-740-ANCE-2018 Robots manipuladores industriales-Characterización del diseño.

Establece las principales características de diseño declaradas para el uso de manipuladores robóticos industriales. Esta norma tiene concordancia con ISO 9946: 1999SEGOB. (2018). Robots manipuladores industriales-Characterización del diseño (NMX-J-740-ANCE-2018)

Nota: Existen más normas mexicanas que no aplican en esta propuesta, dado que el resto de esta normatividad aplica para sistemas robóticos industriales colaborativos.

International Organization for Standardization Norms (ISO):

Esta normatividad es la guía internacional que engloba aspectos técnicos de desarrollo que conglomeran una estandarización global, los puntos que enfoca abarcan calidad, regulación, generalización de términos, usos definidos para cada caso y apartados seguridad para el diseño de celdas robóticas.

- ISO 10218-1:2011 “especifica requisitos y pautas para el diseño seguro inherente, medidas de protección e información para el uso de robots industriales. Describe los peligros básicos asociados con los robots y proporciona requisitos para eliminar, o reducir adecuadamente, los riesgos asociados con estos peligros.”
- ISO. (2011). Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots (ISO 10218-1:2011)
- ISO 10218-2:2011 “especifica los requisitos de seguridad para la integración de robots industriales y sistemas de robots industriales como se define en ISO 10218-1, y células de robots industriales”. La integración incluye lo siguiente.
- 1. El diseño, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento del sistema o celda de robot industrial.
- Información necesaria para el diseño, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento del sistema o celda de robot industrial.
- Dispositivos componentes del sistema o celda de robot industrial.
- ISO. (2011) Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011).

Un aspecto muy importante de la normatividad ISO, es que sus normas se relacionan entre sí. Si bien, estas dos normas actuales (vigentes) investigadas son directamente aplicadas a robots industriales, en el sistema ISO existen normas relacionadas implícitamente (estas incluso pueden estar ya vencidas, pero sirve de parámetro de referencia para actualizar normas actuales) dentro de estas que deben cubrirse y revisarse en la implementación de un celda robótica o diseño de un robot, esto se indica en el sitio web de ISO. Por lo cual, deben mencionarse estas normas implícitas para poder cubrir totalmente los puntos ya mencionados:

- ISO 4413, Energía de fluidos hidráulicos - Reglas generales y requisitos de seguridad para sistemas y sus componentes.
- ISO 4414, Energía de fluidos neumáticos. Reglas generales y requisitos de seguridad para sistemas y sus componentes.
- ISO 8995-1, Iluminación de lugares de trabajo - Parte 1: Interior.
- ISO 9283: 1998, Manipulación de robots industriales - Criterios de rendimiento y prueba relacionada métodos.
- ISO 9946, Manipulación de robots industriales. Presentación de características.
- ISO 11161, Seguridad de la maquinaria - Sistemas de fabricación integrados – Requisitos básicos
- ISO 12100 Seguridad de la maquinaria. Principios generales de diseño. Evaluación de riesgos y reducción de riesgos.

- ISO 13849-1: 2006, Seguridad de la maquinaria. Partes de los sistemas de control relacionadas con la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
- ISO 13850 Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios de diseño.
- ISO 13854, Seguridad de la maquinaria - Espacios mínimos para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- ISO 13855, Seguridad de la maquinaria - Colocación de las salvaguardias con respecto a las velocidades de aproximación de partes del cuerpo humano.
- ISO 13856, Seguridad de la maquinaria - Dispositivos de protección sensibles a la presión.
- ISO 13857, Seguridad de la maquinaria - Distancias de seguridad para evitar zonas peligrosas alcanzado por las extremidades superiores e inferiores.
- ISO 14118 Seguridad de la maquinaria. Prevención de puesta en marcha inesperada.
- ISO 14119, Seguridad de la maquinaria - Dispositivos de enclavamiento asociados con resguardos - Principios de diseño y selección.
- ISO 14120, Seguridad de la maquinaria - Protecciones - Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.
- ISO 14122, Seguridad de la maquinaria - Medios permanentes de acceso a la maquinaria.
- IEC 60204-1, Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requerimientos generales
- IEC 61496-1, Seguridad de la maquinaria - Equipo de protección electro sensible - Parte 1: Ensayos y requisitos generales.
- IEC 61800-5-2, Sistemas de accionamiento de potencia eléctrica de velocidad ajustable - Parte 5-2: Seguridad requisitos – Funcional.
- IEC / TS 62046, Seguridad de la maquinaria - Aplicación de equipo de protección para detectar la presencia de personas.
- IEC 62061:2005, Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.

De igual forma, se tuvieron que investigar normatividades referentes a espacios de comida, al menos las aplicables para el sector mexicano, a fin de que se pudiera abarcar la mayor cantidad de requerimientos posibles tanto en seguridad, condiciones de trabajo, higiene, capacitación y adiestramiento.

Normas mexicanas (Protocolo de Inspección):

Estas normas son las que tienen mucho peso dentro del territorio mexicano, brindadas por el sitio web oficial del gobierno mexicano enfocadas a mantener 3 aspectos importantes: seguridad, salud y organización. Aunque no tengan relación directa con robots manipuladores industriales o móviles, son normas igual de imprescindibles por ser aplicadas a este tipo de establecimientos; además, la falta de establecimientos cooperativos con robots no es algo tan convencional para países como México, hacen entendible la falta de normas para estos.

- NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de noviembre de 2008.
- NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de diciembre de 2010.
- NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de mayo de 1999.
- NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. publicada en el Diario Oficial de la Federación el 02 de febrero de 1999.
- NOM-006-STPS-2014, Manejo y almacenamiento de materiales - Condiciones y procedimientos de seguridad, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de septiembre de 2014.
- NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de mayo de 2011.
- NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de diciembre de 2011.
- NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de noviembre de 2008.
- NOM-027-STPS-2008, Actividades de soldadura y corte- Condiciones de seguridad e higiene, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de noviembre de 2008.
- NOM-029-STPS-2011, Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 2011.
- NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas de Condiciones de seguridad e higiene, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de junio de 2002.
- NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2008.
- NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal -Selección, uso y manejo en los centros de trabajo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de diciembre de 2008.
- NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 2000.

- NOM-019-STPS-2011, Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de abril de 2011.
- NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 2008.
- La NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo-Funciones y actividades, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 2009.

8. Análisis de factibilidad

Si bien la propuesta abarca diferentes tipos de robótica, está dirigida para su implementación en países primer de primer mundo, dados los cambios que se han mencionado con anterioridad en los empleos por los diversos factores. Recientemente Forbes (2020) menciona que el valor actual del mercado de robots a nivel mundial es de 147.27 billones de dólares y que dadas las incursiones recientes hechas por KFC u otras cadenas de comida este valor podría aumentar un 17.24 con dicha incursión de robots en restaurantes para finales de 2025. Este aumento se debe a que los ejemplos de implementaciones han generado una renovación de empleos permitiendo superar la falta de personal que combinado con el atractivo de visita que generan hacia los comensales tienen un incremento en sus ganancias cercano al 65. Por lo cual se enlistan las consideraciones de riesgo, evaluación, costos y retorno de inversión.

Inventario de riesgos: Se consideran cinco aspectos distintos pero que se complementan al considerar factores que podrían poner en riesgo el proyecto mismo. Esos riesgos se enumeran en la siguiente tabla.

Categoría	Descripción
Humano	Accidentes provocados por movimientos bruscos, colisión, atrapamiento de ropa en caso de manejar una celda que no sea totalmente autónoma por lo cual se debe ampliar la seguridad con sensores
Operacional	Corte eléctrico, paro de operaciones, falta de mantenimiento
Procedimiento	Mala interacción entre los proveedores y el equipo de ingeniería que puede conducir a una mala integración robótica
Project	El cliente final no revisa la cantidad de material requerido para el proyecto o no proporciona los detalles suficientes en la planeación
Financiero	Falta de fondos del área de contabilidad interna del cliente final
Técnico	Falta de capacitación por parte de los empleados, que puede resolverse mediante un convenio de los proveedores de equipo por lo cual renueva esa parte de personal

Figura 24: Riesgos de proyecto

Evaluación: Derivado de la anterior tabla se hace un filtro de los riesgos con mayor probabilidad de presentarse durante o después de haber completado el proyecto para el usuario acorde a escenarios de las descripciones en caso de no atender las recomendaciones señaladas.

Valor	Aplicación
Bajo	Falta de componentes para la solución
Medio	Problemas derivados de una mala integración en la gestión de la seguridad o mantenimiento por personal no capacitado
Alto	Paro de operaciones por falta de mantenimiento a mediano o largo plazo

Figura 25: Evaluación de riesgos

Control de riesgos: En este parámetro se indican las contramedidas a utilizar para mitigar los riesgos de la propuesta

Elaboración de lista completa con los proveedores y el equipo de implementación donde se señalen los componentes evitando faltar uno al momento de la puesta en marcha. Esta contramedida ayuda a definir un presupuesto final y al equipo conocer las instalaciones del cliente para la correcta evaluación de la lista.

Durante la puesta en marcha, ver los escenarios en donde estaría interviniendo el personal en caso de no ser una celda totalmente autónoma para implementar y señalar en la instalación las zonas de seguridad que aplican a personas y proteger también al robot móvil. Tener respaldos de la solución en caso de un paro de emergencia donde por alguna razón requiera masterizar nuevamente los equipos y enviar a capacitación al operador o encargado de la operación robótica.

Designar de acuerdo con el cliente, periodos de mantenimiento a largo o mediano en días donde sus servicios no tengan alta demanda para garantizar el funcionamiento del equipo e inclusive inspecciones rutinarias internas con el operador.

Costo directo: Lista tentativa materiales a utilizar, esta puede variar de acuerdo a los requerimientos del usuario por lo cual no es determinante totalmente dado que depende el tipo de comida, el lugar de instalación y los procesos a cubrir con los robots. El tiempo de instalación se contempla a cinco días por semana a jornada laboral en Estados Unidos de dos a tres semanas englobando ambos tipos de robótica con tres personas, este país se consideró dada la cercanía y el éxito que han presentado otros conceptos en cocinas de restaurantes automatizadas. El salario promedio de un programador de robots es de 5,600 USD bajo las condiciones mencionadas por lo cual se puede hacer un arreglo para el precio final.

Producto	Costo (USD)
M-20iB-25/CR-30iB/iRVision/Teach pendant/Roboguide/iRVision	37000
Curso de operación (por persona)	240
PLC con HMI	1136
Sensores para fenceless system	2000
Robot móvil (aprox)	3400
Instalación (3 personas)	12000
Total	55776

Figura 26: Costo estimado de solución

Costo-beneficio

Analizando el costo por una implementación aplicada a pizzerías en Estados Unidos, Quora reporta una ganancia neta anual de 800,000 USD en promedio por sucursal de cadenas grandes de pizzería. Por lo que calculando las ganancias netas que tendrían destinadas para inversión o expansión de negocios se obtuvieron en la siguiente tabla el payback, ROI sin el añadido extra del 65 que han venido registrando otras cadenas con robots en sus instalaciones y la otra donde se emplea.

Instalación	Inversión	Payback	ROI (1 year)	ROIW (1 year)
1	55776	14.34	1434%	2366%

Figura 27: Análisis económico

Este análisis genera una perspectiva de porque está surgiendo la incursión de robots en restaurantes de diferentes tipos de comida, donde se muestra sin contemplar al menos en este análisis gastos de operación con empleados. Como mejora al análisis a futuro seria, revisar detalladamente los costos que se generan por operador, y se muestra que esta incursión ayuda a las cadenas a resolver su problema de escasez de personal.

9. Evidencias técnicas

A continuación se adjuntan los links del repositorio y de los videos de la aplicación robotica.

GitHub: https://github.com/PablitoClavito-22/FinalProject_RoboticSystemDesign.git

OneDrive: https://winliveudlap-my.sharepoint.com/personal/juan_moralesgz_udlap_mx/_layouts/15/onedrive.aspx?csf=1&web=1&e=4t223p&cid=1c2ad8c4%2D0077%2D460b%2Dac91%2D2ca370227090&id=%2Fpersonal%2Fjuan%5Fmoralesgz%5Fudlap%5Fmx%2FDocuments%2FEvidencia%5FDise%C3%B1oSistemasRoboticos&FolderCTID=0x012000357CCAE66E146C498C3A936F16FBC5C6

10. Conclusiones

En este proyecto se establecieron las bases y las pruebas para desarrollar el proyecto de la creación de una pizzería fantasma, con la conjunción de dos ambientes de simulación con el propósito de establecer la cooperatividad y factibilidad de aplicación de entornos profesionales (roboguide), y entornos de desarrollo (ROS), con los procesos y el ambiente definidos cada rutina se trabajó de forma independiente, a su vez se iban realizando los complementos de simulación pertinentes con el propósito de seguir el desarrollo de cada entorno, además el proceso de aprendizaje que se llevó a cabo permitía conseguir varios objetivos a la par. Si bien los objetivos consistían en realizar una simulación completa debido al tiempo y los constantes errores del entorno ROS y Gazebo, tomamos la decisión, de enfocarnos en el desarrollo de cocina y tomar el proceso de entrega como una oportunidad de mejora al proyecto, para ello se tendría que considerar un escenario donde la máquina donde trabajemos esté dedicada al desarrollo con Ubuntu, esto para evitar los constantes fallos y el robot pueda entrenarse para una navegación autónoma además de que si se quisiera realizar de una manera fiel a la idea inicial de forma física se contaría con los elementos y herramientas.

Referencias

- Arduino, Guillermo. (2020). Flippy, el robot cocinero. abril 29, 2022, de CNN Sitio web: <https://cnnespanol.cnn.com/video/robot-restaurantes-cocina-hamburguesas-comida-rapida-guillermo-arduino-clix/>
- CNN español. (2019). Robots y pizzas de caracol: la oferta de los restaurantes de EE.UU. para sus clientes en China. abril 29, 2022, de CNN español Sitio web: <https://cnnespanol.cnn.com/video/eeuu-china-tecnologia-kfc-pizza-hut-taco-bell-comida-rapida-orig/>
- El tiempo de Monclova. (2021). Robots en la cocina: el futuro de la comida rápida. septiembre 3, 2021, de El tiempo de Monclova Sitio web: <https://eltiempomonclova.mx/noticia/2021/robots-en-la-cocina-el-futuro-de-la-comida-rapida.html>
- FANUC EU. (2021). M-20iB/25C. abril 25, 2022. De FANUC EU, sitio web: <https://www.fanuc.eu/it/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ib-25c>
- Görnemann, Otto. (2017). Seguridad de los robots colaborativos. abril 29, 2022, de SICK Sensor Intelligence Sitio web: <https://www.osalan.euskadi.eus>
- ISO. (2011) Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots (ISO 10218-1:2011) <https://www.iso.org/standard/51330.html>
- ISO. (2011) Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011) <https://www.iso.org/standard/41571.html>
- Naveen, Joshi. (2020). Bon Appétit! Robotic Restaurants Are The Future. Abril 29, 2022 de Forbes Sitio web: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2020/02/03/bon-appetit-robotic-restaurants-are-the-future/?sh=308312c32136>
- Quora. (2018). How much does a pizza restaurant profit on average yearly? Abril 29, 2022 de Quora Sitio web: <https://www.quora.com/How-much-does-a-pizza-restaurant-profit-on-average-yearly>