

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCION

**APLICACIÓN DE ROBÓTICA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS A
PROTOTIPO DE CASA, HECHA A ESCALA, DEL DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCIÓN.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, SEDE CONCEPCIÓN.

Alan Ignacio Vásquez Venegas

2024

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION

“REY BALDUINO DE BELGICA”

APLICACIÓN DE ROBÓTICA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS A PROTOTIPO DE CASA, HECHA A ESCALA, DEL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, SEDE CONCEPCIÓN.

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CONSTRUCTOR

Alumno: Alan Ignacio Vásquez Venegas

Profesor Guía: Reinaldo Valdebenito Oñate

2024

Introducción

La industria de la construcción ha sido históricamente considerada una de las más tradicionales, caracterizada por su resistencia al cambio y la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, en un mundo cada vez más digitalizado y globalizado, la construcción se enfrenta a desafíos significativos, como la creciente demanda de viviendas, la presión por reducir costos y el aumento de la competencia. Por esta razón, es esencial que el sector busque implementar tecnologías avanzadas que optimicen los procesos constructivos. En este contexto, la industria ha experimentado transformaciones significativas en las últimas décadas, impulsadas por el avance de la tecnología y la integración de metodologías innovadoras como ***“el Building Information Modeling (BIM), que es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual.”*** Por Minvu en ***Implementación del BIM.***

Por otro lado, la robotización en la construcción está emergiendo como una fuerza transformadora que promete cambiar la forma en que se llevan a cabo los procesos constructivos. La robótica ha automatizado tareas que tradicionalmente eran manuales, como la colocación de ladrillos, el encofrado y la pintura, aumentando la eficiencia y la calidad de los resultados. Por ejemplo, en Texas se está terminando un vecindario donde se implementó la impresión 3D para la edificación de viviendas, lo que permite construir estructuras de manera rápida y sostenible. Asimismo, en Australia se ha estado aplicando una tecnología avanzada para la colocación de ladrillos mediante un robot llamado X-Hadrian, que realiza esta tarea con una precisión y velocidad significativamente superiores a las de los métodos tradicionales. Estos avances no solo reducen la posibilidad de errores humanos, sino que también mejoran la seguridad al disminuir la exposición de los trabajadores a entornos peligrosos.

La integración de la metodología BIM y la robótica representa una oportunidad crucial para transformar la forma en que se construyen los edificios y se gestionan los proyectos. A pesar de que la robótica aún no está ampliamente presente en el ámbito de la construcción en muchos países, incluida Chile, hay un creciente interés en explorar su potencial. La utilización de brazos robóticos puede mejorar la precisión, reducir los tiempos de construcción y minimizar los errores, ofreciendo soluciones innovadoras a problemas persistentes. Como se ha mencionado, ***“las disrupciones tecnológicas que ya han ocurrido en otras industrias están tocando la puerta de la construcción. El***

salto de la digitalización y la industrialización están mostrando no solo ganancias significativas en productividad, sino también cambios profundos en los modelos de negocio”.

En este contexto, la necesidad de innovar en el Departamento de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, es esencial. La robótica y su potencial para optimizar los procesos constructivos aún no han sido profundamente investigados en nuestra área, lo que limita las oportunidades de aprovechar sus beneficios. Este proyecto busca indagar y profundizar en el uso de la robotización en la construcción, explorando cómo estas tecnologías pueden integrarse en los procesos constructivos de una casa prototipo y prácticos del departamento, y prepararnos mejor para enfrentar los retos del futuro en esta industria en constante evolución.

Índice.

Introducción.....	2
Problemática.....	7
Justificación.....	8
Metodología de investigación.....	11
Objetivos del proyecto.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
Marco teórico.....	14
Marco normativo.....	16
Robótica en la construcción.....	17
Automatización y robótica en la construcción.....	18
Capítulo 1: Análisis de Procesos Constructivos: Identificación de Fases para la Intervención Robótica.....	18
Protocolos y procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción en el Taller de Edificación.....	22
Capítulo 2: Modelado BIM de la Vivienda Prototipo: Representación Digital.....	29
Modelado BIM.....	32
Capítulo 3: Integración del Modelo BIM al Software de Programación del Brazo Robótico KUKA KR 50 R2100.....	37

Capítulo 4: Ejecución Práctica: Interacción del Brazo Robótico con los Procesos	
Constructivos.....	41
Programación Final.....	50
CONCLUSION.....	52

Índice de Figuras.

Figura 1, referente al brazo robótico KUKA R50 R2100.....	19
Figura 1.2 Diagramas de cargas.....	21
Figura 1.3 Grafica del campo de trabajo.....	21
Figura 1.4, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	24
Figura 1.5, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	25
Figura 1.6, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	26
Figura 1.7, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	27
Figura 1.8, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	27
Figura 1.9, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.....	28
Figura 2, Elevación OESTE.....	31
Figura 2.1, Elevación ESTE.....	31
Figura 2.2, Elevación NORTE.....	32
Figura 2.3, Elevación SUR.....	32

Figura 2.4, Elevación PLANTA.....	33
Figura 2.5 Plano planta de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.....	33
Figura 2.6 Alzado Este de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.....	34
Figura 2.7 Alzado Sur de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.....	34
Figura 2.8 Alzado Oeste de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.....	35
Figura 2.9 Alzado Norte de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.....	35
Figura 2.10 Vista Emplazamiento del Prototipo de la vivienda a escala del Departamento de Construcción.....	36
Figura 2.11 Vista 3D del prototipo de la vivienda a escala del Departamento de Construcción.....	36
Figura 3, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM.....	37
Figura 3.1 Imagen referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM..	38
Figura 3.2 – 3.3 referente, controlador y programador KUKA KR C4.....	39
Figura 4.0, Paso 2: Trazado y corte de madera.....	41
Figura 4.1, Paso 3: Ensamblaje de la estructura.....	42
Figura 4.2, Paso 4: Tabiquería.....	42
Figuras 4.3 – 4.4, herramienta del Brazo Robótico KUKA KR 50 R2100.....	44
Figura 4.5, Levantamiento de Tabique OESTE.....	44
Figura 4.6, Levantamiento tabique OESTE.....	45
Figura 4.7, referente a ejes de brazo robótico KUKA KR R2100.....	47
Figura 4.8, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM.....	48
Figura 4.9, Posición Final, referencia de coordenadas de posición del Tabique Oeste.....	49
Figura 4.10 referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM.....	50

Figura 4.11, Programación Final de automatización de movimiento del KUKA K50 R2100.....51

Índice de Tablas

Coordenadas cartesianas, tabla 3.0 referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.....	38
Coordenadas cartesianas, Tabla 3.1 referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.....	38
Tabla 4.0 referente a pesajes aproximados de los materiales de construcción.....	38
Coordenadas cartesianas, tabla 4.1, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.....	43
Coordenadas cartesianas, Tabla 4.2, referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.....	50

Problemática.

¿Cómo innovar en los procesos constructivos de la vivienda prototipo hecha a escala por el Departamento de Construcción?

En el contexto estudiantil, surge la necesidad de integrar nuevas tecnologías en los procesos constructivos asociados a la vivienda prototipo creada por el Departamento de Construcción. Actualmente, las metodologías empleadas se centran en técnicas avanzadas y tecnologías digitales como BIM, pero existe un vacío en la exploración y aplicación práctica de la robótica.

Esta situación plantea el desafío de cómo se puede participar activamente en la innovación de estos procesos, utilizando herramientas y tecnologías emergentes, como la automatización robótica, que permitan optimizar tiempos, reducir errores y simular soluciones constructivas avanzadas. La falta de experiencias prácticas en robótica no solo limita el aprendizaje de los estudiantes, sino también su preparación para enfrentar los cambios y demandas tecnológicas del sector de la construcción.

Justificación

Este proyecto se centra en la utilización de un brazo robótico en la integración de proceso constructivo de una casa prototipo en el departamento de construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción. A pesar de que la robótica ha comenzado a ganar terreno en otras instituciones, en nuestro campus este tema aún no ha sido abordado en profundidad. La implementación de esta tecnología no solo representa una oportunidad para innovar en los métodos constructivos actuales, sino que también puede sentar las bases para que futuras generaciones de estudiantes integren BIM con la robótica en sus proyectos.

Al incorporar un brazo robótico en el proceso de construcción, los estudiantes podrán experimentar de primera mano las ventajas que esta tecnología ofrece, como la mejora en la precisión, la reducción de tiempos de ejecución y el aumento en la seguridad laboral. Este enfoque práctico no solo enriquecerá la formación académica, sino que también los preparará para un mercado laboral que demanda habilidades en tecnologías avanzadas.

Además, al explorar BIM y la robótica, el proyecto puede abrir nuevas vías para la optimización de procesos y la innovación en la construcción. De esta manera, el departamento no solo se alinearán con las tendencias actuales de la industria, sino que también fomentará una cultura de innovación y adaptabilidad entre sus estudiantes. Este paso hacia la integración de la robótica en la educación en construcción puede inspirar a futuras generaciones a seguir desarrollando y mejorando las prácticas constructivas, contribuyendo así a un sector más eficiente y sostenible.

El Área Robots en Arquitectura – AReA se enfoca en la colaboración humano-robot en la producción arquitectónica.

En docencia, nuestra misión es colaborar en la formación de arquitectas(os) con visión tecnológica y competencias profesionales en Ciencia y Tecnología aplicadas en la arquitectura. Impartimos asignaturas en el ciclo formativo del plan de estudios de la carrera que tienen como objetivo principal desarrollar en las y los estudiantes el pensamiento computacional para resolver problemas de nuestra disciplina, empleando automatización. Además, impartimos talleres formativos y avanzados cuyo objetivo principal es desarrollar en las y los estudiantes conocimientos y habilidades en diseño

paramétrico, diseño basado en restricciones y programación de robots industriales y colaborativos. Por Departamento de Arquitectura. Así también CIPYCS

CENTRO INTERDISCIPLINARIO PARA LA PRODUCTIVIDAD Y CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE impulsa el uso de tecnología en la construcción, fomentando la adopción de innovaciones como los robots KUKA. *“La incorporación de los robots KUKA en la industria de la construcción está revolucionando los métodos tradicionales, creando un vínculo fundamental entre la academia y el sector industrial. Marcos Brito de Construye 2025 y Roberto Luna de CIPYCS resaltan cómo esta colaboración entre instituciones educativas y la industria está impulsando innovaciones en la robótica”* septiembre 16 ,2024. Además, agrega en este artículo enfatizando la importancia de los programas educativos desarrollados juntamente con la industria, preparando a una nueva generación de profesionales en tecnologías emergentes como la robótica, listos para enfrentar los retos futuros en la construcción.

Metodología de trabajo.

La metodología se enfoca en la exploración e integración de la robótica con los procesos constructivos del prototipo de vivienda a escala creado por el Departamento de Construcción. El proceso se divide en varias etapas secuenciales, que incluyen la investigación de robots, el análisis de los procesos constructivos, manipulación de software de modelado en 3D y de programación.

Visita al Departamento de Informática - Sección Robótica

El primer paso consiste en realizar una visita al Departamento de Informática, específicamente a su sección de robótica, con el objetivo de conocer las herramientas y robots disponibles. Esta visita permitirá identificar las características de los robots que podrían ser útiles para integrarse en los procesos de construcción, evaluando aspectos como su capacidad de manipulación, precisión y adaptabilidad al trabajo con materiales constructivos.

Estudio y Análisis de los Robots Disponibles

Posteriormente, se procederá a estudiar en detalle los robots identificados durante la visita al Departamento de robótica. Este análisis incluirá una revisión de sus especificaciones técnicas, su programación y sus posibles aplicaciones dentro de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.

Paralelamente al estudio de los robots, se realizará un análisis exhaustivo de los procesos constructivos involucrados en la creación de la vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción, en sus talleres. Esto incluye la identificación de las etapas más críticas del proceso, tales como el montaje de paredes, el ajuste de estructuras y la manipulación de componentes pesados, en las cuales la robótica podría aportar eficiencia y precisión.

Creación de Planos en AutoCAD y Revit

Con base en los procesos constructivos analizados, se procederá a la creación de los planos en AutoCAD, que servirán como base para el diseño detallado del prototipo. Estos planos serán luego importados a Revit, donde se integrarán las características adicionales del modelo, tales como las especificaciones estructurales y de materiales. Este paso es crucial para garantizar que la información esté completamente digitalizada y pueda ser utilizada para la programación del robot.

Extracción de Información para Programación del Robot

Una vez completados los modelos en AutoCAD y Revit, se extraerá la información necesaria para implementarla en el software de programación del robot. Esto incluye coordenadas, dimensiones y

detalles específicos del diseño que permitan al robot ejecutar tareas constructivas de manera autónoma y precisa. Se utilizarán herramientas de programación específicas para integrar estos datos en los sistemas de control del robot, permitiendo que el robot realice movimientos y ajustes conforme a los planos generados.

Implementación y Pruebas de Integración

Finalmente, se realizará la implementación de los datos en el software del robot, y se llevarán a cabo pruebas para verificar la precisión y eficiencia de los movimientos automatizados. Se analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas para realizar los ajustes necesarios y garantizar que el robot pueda integrarse correctamente en los procesos constructivos.

Objetivos del proyecto

Objetivo General:

- Lograr una interacción entre un brazo robótico y procesos constructivos de la vivienda prototipo hecha a escala del Departamento de Construcción.

Objetivo Específicos:

- Identificar las fases de los procesos constructivos de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción que pueden ser intervenidas con el brazo robótico.
- Generar un modelo BIM de la vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.
- Incorporar modelo BIM de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción a software de programación del brazo robótico.
- Aplicar software de programación del brazo robótico para ejecutar la integración a proceso constructivo de vivienda prototipo.

Marco Teórico

Eficiencia en la Construcción:

La eficiencia en la construcción busca optimizar recursos, reducir costos y mejorar tiempos de ejecución. La adopción de tecnologías como la robótica permite automatizar tareas repetitivas, lo que aumenta la productividad y precisión en los proyectos, mientras mejora la seguridad y minimiza errores.

Robótica:

La robótica se enfoca en el diseño y uso de robots que realizan tareas de forma autónoma o semiautónoma. En la construcción, los robots permiten automatizar tareas como la manipulación de materiales, el ensamblaje de estructuras y la colocación de componentes, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de trabajo.

Robótica en la Construcción:

La robótica aplicada en la construcción mejora la eficiencia operativa al automatizar tareas como el levantamiento de materiales pesados y la construcción de estructuras complejas. Los robots permiten también realizar tareas en entornos peligrosos, mejorando la seguridad en los sitios de trabajo.

Revit:

Revit es un software de modelado de información de construcción (BIM) que permite crear representaciones digitales de proyectos, facilitando la colaboración entre arquitectos, ingenieros y constructores. Su capacidad para integrar detalles técnicos mejora la precisión y eficiencia en el diseño y construcción.

BIM (Building Information Modeling):

BIM es un enfoque que utiliza modelos digitales para gestionar toda la información de un proyecto de construcción. Facilita la colaboración, la planificación precisa, la detección de problemas y la optimización de recursos, mejorando la eficiencia en cada fase del ciclo de vida del proyecto.

KUKA KR 50 R2100:

El KUKA KR 50 R2100 es un robot industrial con alta precisión y capacidad de carga, ideal para tareas de manipulación en la construcción. Su flexibilidad y autonomía permiten mejorar la eficiencia en

procesos repetitivos y complejos, como el montaje de estructuras y la manipulación de materiales pesados.

AutoCAD:

AutoCAD es un software CAD utilizado para crear planos y diseños detallados en 2D y 3D. Es esencial en el diseño de edificaciones y su integración con herramientas como Revit permite una coordinación eficiente entre los diferentes aspectos del proyecto.

Work Visual:

Software gráfico para programar de manera intuitiva. Permite crear secuencias de movimientos y controlar tareas automatizadas de forma eficiente.

Programación de Software:

La programación del robot se realiza a través de coordenadas "mundo" y "tools", optimizando los movimientos y tareas automatizadas como levantamiento y colocación de materiales, mejorando la eficiencia en construcción.

KUKA KR C4

El KUKA KR C4 es el cerebro que controla los robots de KUKA. Es un sistema que dirige los movimientos del robot, lo hace fácil de programar y permite que trabaje de forma precisa y segura. También es eficiente en energía y puede conectarse a otros sistemas para adaptarse a diferentes tareas industriales, como ensamblaje, soldadura o manipulación de objetos.

Marco Normativo

Ley 21.180 - Transformación Digital del Estado: Esta ley promueve la interoperabilidad de sistemas y el uso de estándares abiertos en la administración pública, lo que es fundamental para la gestión de información en proyectos de construcción.

Normativa BIM del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu): Incluye directrices sobre la implementación de BIM en proyectos habitacionales, estableciendo estándares para la gestión y presentación de la información.

La **ISO 19650** es una norma internacional que se centra en la gestión de la información dentro de la metodología BIM (Building Information Modeling). Esta norma es especialmente relevante para la industria de la construcción, ya que proporciona directrices para la organización y gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo construido, incluyendo aspectos de automatización.

Robótica en la construcción

La historia de la robótica en la construcción comienza en la década de 1960, cuando se introdujeron los primeros robots industriales en fábricas, principalmente para tareas de ensamblaje y soldadura. Sin embargo, fue en las últimas décadas que la robótica comenzó a integrarse de manera más significativa en la industria de la construcción.

En los años 80 y 90, la automatización se centró en herramientas de apoyo, como máquinas controladas por computadora, que mejoraron la precisión en el corte y la manipulación de materiales. A medida que la tecnología avanzaba, surgieron aplicaciones más complejas, como brazos robóticos capaces de realizar tareas específicas en el sitio de construcción.

En la última década, la robótica ha experimentado un crecimiento notable. La llegada de tecnologías como la impresión 3D ha permitido la creación de estructuras completas con menor intervención humana. Además, el uso de drones para inspecciones y monitoreo de obras ha transformado la gestión de proyectos, proporcionando datos en tiempo real.

En estados unidos, la empresa Construction Robotic ha sido clave en este avance. Por ejemplo, robots como el SAM (Semi-Automated Mason) pueden colocar ladrillos de manera precisa y eficiente, reduciendo el tiempo de construcción y aumentando la calidad del trabajo, *“La nueva creación de una compañía con sede en Nueva York es un robot de albañilería*

llamado SAM100 (Semi-Automated Mason) que es capaz de construir paredes seis veces más rápido que un albañil humano. Creado por la firma Construction Robotics, SAM está listo y dispuesto a colocar 3.000 ladrillos al día, utilizando la combinación de una cinta transportadora, un brazo robótico y un surtidor de cemento. Para quienes no están familiarizados con el campo de la construcción, en comparación un constructor humano coloca un promedio de alrededor de 500 ladrillos al día.” por Milenka Peña en Digitaltrends”. Otro ejemplo es el *Hadrian X*, un robot diseñado para la construcción de viviendas que puede cortar y ensamblar paneles de manera autónoma, *Hadrian X® es la primera máquina y sistema robótico móvil de colocación de bloques del mundo, capaz de trabajar de forma segura al aire libre en entornos no controlados con velocidad y precisión.*

Hadrian X® construye estructuras de bloques a partir de un modelo CAD en 3D, produciendo muchos menos residuos que los métodos de construcción tradicionales y mejorando drásticamente la seguridad del sitio”. Por FBR innovation in the making.

Automatización y robótica en la construcción

La automatización ha sido un impulsor clave en la construcción durante muchos años con maquinaria pesada como excavadoras, grúas y hormigoneras desempeñando un papel fundamental en el desarrollo de proyectos. Sin embargo, los avances en la robótica han llevado esta automatización a un nivel completamente nuevo.

Ventajas de la Robótica en la construcción en *La revolución robótica en la construcción: transformando el futuro de la industria por Constructivo*.

- **Mayor eficiencia y productividad:** Los robots pueden trabajar de forma ininterrumpida y sin fatiga, lo que aumenta la productividad y reduce el tiempo de construcción. Además, al mejorar la precisión en tareas como el corte, soldadura y montaje, se minimizan los errores y desperdicios, ahorrando tiempo y recursos.
- **Mayor seguridad:** Los entornos de construcción suelen ser peligrosos para los trabajadores, con riesgos de caídas, golpes y otros accidentes. Al emplear robots para llevar a cabo tareas riesgosas, se reducen las posibilidades de lesiones laborales y se protege la vida humana.
- **Reducción de costos:** Aunque la inversión inicial en robótica puede ser significativa, a largo plazo, los costos operativos pueden disminuir, ya que se necesita menos mano de obra y se reducen los gastos relacionados con accidentes y errores de construcción.
- **Adaptabilidad y personalización:** Los robots pueden ser programados para adaptarse a diferentes tareas y proyectos, lo que permite una mayor flexibilidad en la construcción. Además, pueden integrarse con tecnologías como la impresión 3D, lo que facilita la creación de diseños personalizados y complejos.
- **Sostenibilidad:** La robótica en la construcción también puede tener un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. Los robots pueden utilizar materiales de manera más eficiente y generar menos residuos, lo que contribuye a una construcción más ecológica.

“Los robots en la construcción se han vuelto más versátiles y capaces, realizando tareas que antes solo podían ser llevadas a cabo por trabajadores humanos. Desde robots capaces de soldar estructuras metálicas con precisión milimétrica, hasta brazos robóticos que instalan ladrillos y bloques de manera más rápida y eficiente que la mano de obra tradicional, la robótica está revolucionando la forma en que se construye el mundo.”

CAPITULO N°1: Análisis de Procesos Constructivos: Identificación de Fases para la Intervención Robótica

En nuestra Universidad Técnica Federico Santa María, El Departamento de Mecatrónica cuenta con Brazos robóticos los cuales pueden ser útiles para el comienzo de una serie de iniciativas innovadoras que pueden llegar a complementarse con nuestro departamento de construcción.

Como objetivo se busca la identificación de las fases específicas del proceso constructivo de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción donde el brazo robótico pueda intervenir.

Si bien es cierto cada brazo robótico tiene su lenguaje de programación y cumplen distintas formas de trabajo, la idea principal es ocupar uno de estos equipos e implementarlos en procesos constructivos de la vivienda prototipo del departamento de construcción.



Figura 1, referente al brazo robótico KUKA R50 R2100.

Fuente: Elaboración Propia.

El **KUKA KR 50 R2100** es un robot industrial de la serie **KR Quantec** diseñado por **KUKA Robotics**, que destaca por su flexibilidad, precisión y alto rendimiento. Robot implementado en la sección de robótica con la funcionalidad de cumplir trabajos de paletizado, La herramienta del robot utiliza un sistema de ventosas a vacío, capaz de operar a 1.2 MPa, conectada a un compresor que garantiza un suministro constante de aire comprimido para una sujeción precisa y estable, se complementa con cinta transportadora programable.

El robot KUKA se controla mediante el lenguaje de programación **KUKA Robot Language (KRL)**, que permite definir movimientos, interactuar con sensores y realizar operaciones lógicas. Este lenguaje es gestionado a través del software **WorkVisual**, el entorno oficial de KUKA, que permite configurar herramientas, sistemas de coordenadas y redes de comunicación, así como editar y transferir programas al controlador del robot (KR C4 o KR C5). WorkVisual actúa como un puente entre el diseño y la ejecución, facilitando la creación de trayectorias precisas y optimizando la interacción del robot con su entorno, por “kuka.com” y el manual de usuario de “WorkVisual”.

Ejemplo de programación de punto.

Declaración de un punto de destino

```
DECL E6POS P1
```

P1 = {X 1000, Y 500, Z 800, A 0, B 0, C 0}; Coordenadas en mm

Movimiento al punto P1

```
LIN P1 ; Movimiento lineal
```

Características principales del KUKA KR 50 R2100:

Capacidad de carga:

- Puede manipular hasta 50 kg, lo que lo hace ideal para aplicaciones de manipulación de piezas, soldadura, ensamblaje, y más.

Alcance:

- Tiene un alcance máximo de 2,100 mm (2.1 metros), lo que le permite cubrir un amplio espacio de trabajo con gran eficiencia.

Precisión:

- Posee una repetibilidad de ± 0.06 mm, lo que garantiza un alto nivel de precisión en tareas críticas.

Grados de libertad:

- Cuenta con 6 ejes articulados, lo que le proporciona una gran flexibilidad y capacidad para realizar movimientos complejos en tres dimensiones.

Rango de movimiento por eje:

1. Eje 1 (rotación base): $\pm 185^\circ$
2. Eje 2 (rotación del brazo inferior): $\pm 150^\circ$
3. Eje 3 (rotación del brazo superior): $\pm 155^\circ$
4. Eje 4 (rotación de la muñeca): $\pm 350^\circ$
5. Eje 5 (inclinación de la muñeca): $\pm 130^\circ$
6. Eje 6 (rotación final): $\pm 350^\circ$

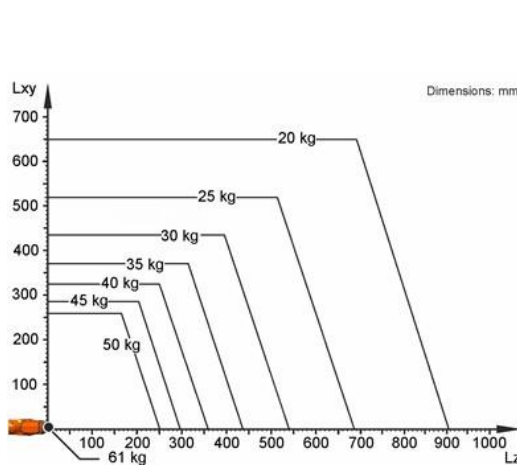


Figura 1.2 Diagramas de cargas.

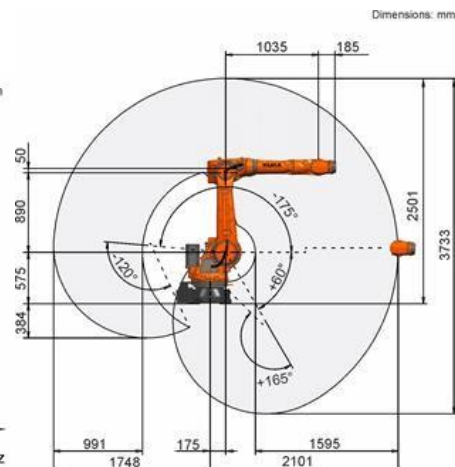


Figura 1.3 Grafica del campo de trabajo.

Información extraída por fincha técnica KUKA KR 50 R2100.

Protocolos y procedimientos de Construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción en el Taller de Edificación II:

La construcción de una Vivienda prototipo a escala es un ejercicio académico desarrollado en el Departamento de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, orientado a que los estudiantes adquieran competencias técnicas, analíticas y prácticas, en un entorno controlado. Este proyecto representa un modelo reducido de un sistema constructivo real, permitiendo a los estudiantes simular las condiciones y procedimientos aplicados en proyectos de edificación. Además, el desarrollo de estas edificaciones se ajustan protocolos de seguridad y prevención, garantizando un entorno seguro para los estudiantes.

Entorno de trabajo:

En el entorno de trabajo en el que se encuentra el taller del Departamento de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María se encuentra diseñado para optimizar el aprendizaje práctico de los estudiantes, ofreciendo un ambiente seguro y funcional:

1. Cada estación está equipada con mesas y caballetes resistentes. Estas áreas están organizadas para las distintas etapas del proceso, desde el corte y ensamblaje hasta la revisión final.
2. Herramientas manuales hasta sierras eléctricas, taladros y elementos de fijación, están organizados dentro del taller, permitiendo a los estudiantes trabajar con fluidez y orden.
3. En el taller se incluye un área específica para la revisión de planos, donde los estudiantes analizan y trazan las medidas necesarias antes de iniciar el trabajo manual.

Protocolos de Seguridad en el Taller de Construcción del Departamento de Construcción:

El Departamento de Construcción prioriza la seguridad de los estudiantes mediante protocolos rigurosos y el uso obligatorio de equipo de protección personal (EPP). Esto refuerza tanto la prevención de accidentes como la creación de hábitos laborales seguros.

EPP Obligatorio:

- Lentes de seguridad para evitar lesiones por partículas desprendidas al cortar o ensamblar.
- Guantes de seguridad para manipular herramientas y materiales.
- Zapatos de seguridad.
- Delantal u overoles resistentes que protegen la ropa y minimizan riesgos menores.

Los estudiantes al inicio de la asignatura Edificación I reciben formación por parte de los docentes a cargo del taller sobre el uso seguro de herramientas eléctricas y manuales, además de aprender a identificar posibles riesgos en cada fase del proyecto.

Docentes y supervisores especializados monitorean el trabajo, asegurando que los procedimientos se realicen correctamente, se encuentran a disposición en todo momento.

Materiales y herramientas utilizadas:

1. Madera de 2x4":
2. Tornillos y clavos de 3":
3. OSB Estructural 11mm.
4. Martillo

5. Sierra ingleteadora
6. Sierra Circular:
7. Taladros eléctricos:
8. Flexómetros, escuadras y niveles

El proceso de construcción comienza de la base para luego continuar con la tabiquería la cual se desarrolla en varias etapas, con un enfoque sistemático que integra teoría y práctica como ya se ha mencionado anteriormente.

Paso 1: Planificación:

Los estudiantes analizan los planos proporcionados por el Departamento de Construcción realizado en AutoCAD. En esta fase, se identifican las dimensiones y se asignan responsabilidades dentro del equipo.

Con Flexómetro, escuadras y marcador, los estudiantes marcan las piezas de madera de 2x4" según las medidas establecidas para realizar la base de la estructura.

Figura 1.4, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Trazado y corte de madera:

Utilizando Sierra Ingleteadora, los estudiantes cortan las maderas de 2x4" según las especificaciones del diseño. Esta etapa requiere precisión para garantizar un ensamblaje adecuado.

Figura 1.5, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Ensamblaje de la estructura:

Los montantes verticales y travesaños horizontales se fijan utilizando clavos de 3". Se verifica que todo esté completamente alineado.

Los paneles OSB se trazan, cortan y fijan sobre la estructura base, Se utilizó sierra circular inalámbrica para el corte de los paneles.

Figura 1.6, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Tabiquería.

Se comienza con la construcción de la tabiquería tipo prefabricado, previamente se analizan los planos de edificación de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.

Se utilizan herramientas manuales y eléctricas para el corte de los paneles de OSB para el recubrimiento de la tabiquería donde posteriormente llevara una membrana hidrófuga.

Se trasladan y se montan los tabiques para el ensamble final, donde todo es supervisado por docentes del área del Taller de Construcción.

Figura 1.7, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.8, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Inspección del termino de montaje de tabiquería estructural:

Figura 1.9, procedimientos de construcción de vivienda prototipo a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Inspección llevada a cabo mediante los Docentes y Alumnos del Departamento de Construcción para retroalimentación del trabajo realizado.

“En este punto, después de haber analizado cada faceta de construcción se llegó al análisis de generar una integración entre el KR 50 R2100 en el movimiento de la placa base de la estructura o Tabique de madera”.

Capítulo 2: Modelado BIM de la Vivienda Prototipo: Representación Digital.

¿Qué es BIM?

*“El **Building Information Modeling (BIM)** es una metodología de trabajo colaborativa que permite la creación y gestión de información de un proyecto de construcción a lo largo de todo su ciclo de vida. Mediante el uso de modelos digitales en tres dimensiones, BIM integra datos geométricos, espaciales, cuantitativos y de propiedades de los componentes de la construcción, facilitando la coordinación entre los diferentes actores involucrados en el proyecto”, **Según BuildingSmart.***

*“Esta metodología no solo abarca el diseño arquitectónico, sino que también incluye aspectos estructurales, de instalaciones y de mantenimiento, permitiendo una visión integral del proyecto desde su concepción hasta su operación y eventual demolición. Al centralizar toda la información en un modelo digital compartido, BIM busca reducir errores, optimizar recursos y mejorar la toma de decisiones en cada etapa del proceso constructivo”, **por Wikipedia en “Modelado de información de construcción.”***

Entre los beneficios de implementar BIM se destacan:

- Mejora en la comunicación y colaboración
- Detección temprana de interferencias
- Simulación y análisis avanzados:
- Gestión integral del ciclo de vida:

BIM representa una transformación digital en la industria de la construcción, promoviendo una gestión más eficiente y transparente de los proyectos, y contribuyendo a la innovación y sostenibilidad en el sector.

Un poco de su Historia...

*El **Building Information Modeling (BIM)** ha evolucionado significativamente desde sus inicios en la década de 1970 hasta convertirse en una herramienta esencial en la industria de la construcción.*

Orígenes y Desarrollo Inicial

Década de 1970: El concepto de BIM comenzó a gestarse con el desarrollo de sistemas de diseño asistido por computadora (CAD), que permitían la creación de representaciones digitales de edificios. Pioneros como Chuck Eastman desarrollaron sistemas como el Building Description System, sentando las bases para el modelado de información de construcción.

Décadas de 1980 y 1990: Surgieron las primeras herramientas de modelado de edificios, como RUCAPS, Sonata y Reflex. Sin embargo, su adopción fue limitada debido a los altos costos y la complejidad de los sistemas.

Consolidación y Popularización

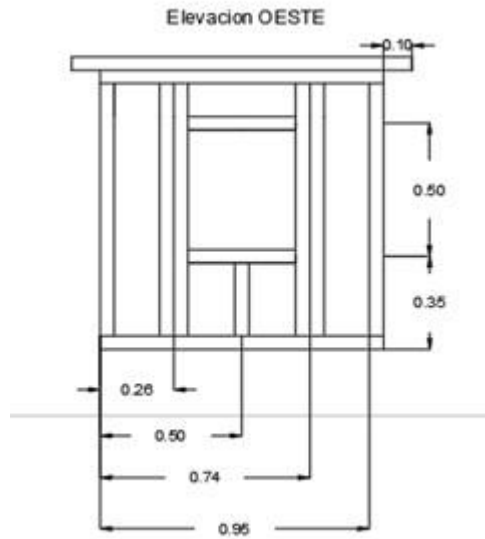
Años 2000: El término "Building Information Modeling" se popularizó a principios de los 2000, especialmente después de que Autodesk publicara un documento técnico en 2002 titulado "Building Information Modeling". Esto marcó un punto de inflexión en la adopción de BIM en la industria.

2003: Jerry Laiserin ayudó a estandarizar el término BIM, promoviendo su uso como una representación digital del proceso de construcción

Información proporcionada en Wikipedia en "Historia de BUILDING INFORMATION MODELING".

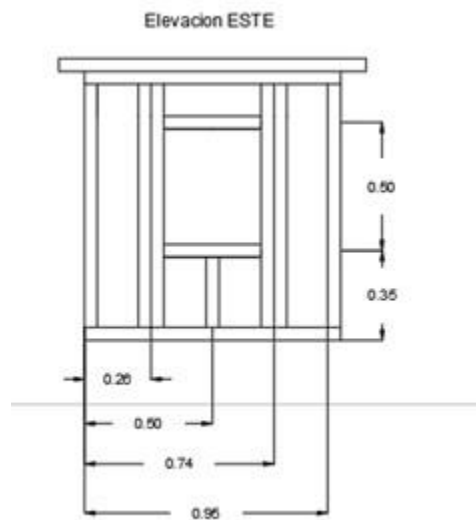
El uso de herramientas de modelado BIM, específicamente mediante el software Autodesk REVIT. Este enfoque permite recrear digitalmente el diseño del prototipo, ofreciendo una representación tridimensional detallada que optimiza la visualización del proyecto y facilita su análisis técnico. El modelo digital no solo integra aspectos arquitectónicos, estructurales y de materiales, sino que también habilita una plataforma colaborativa para evaluar la viabilidad del diseño y detectar posibles conflictos constructivos. Mediante el uso de los planos elaborados en AutoCAD se comienza con modelado BIM de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.

Figura 2 Elevación OESTE.



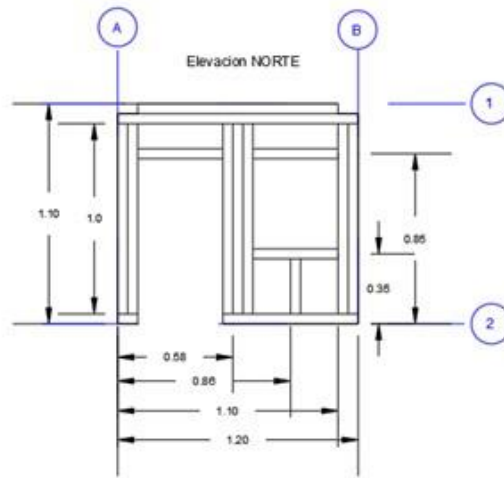
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.1 Elevación ESTE.



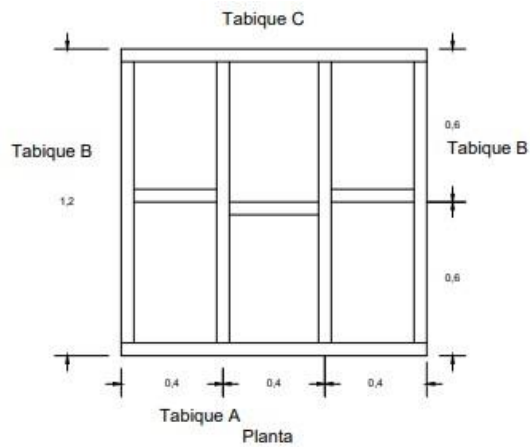
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.2 Elevación NORTE.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.4 PLANTA.

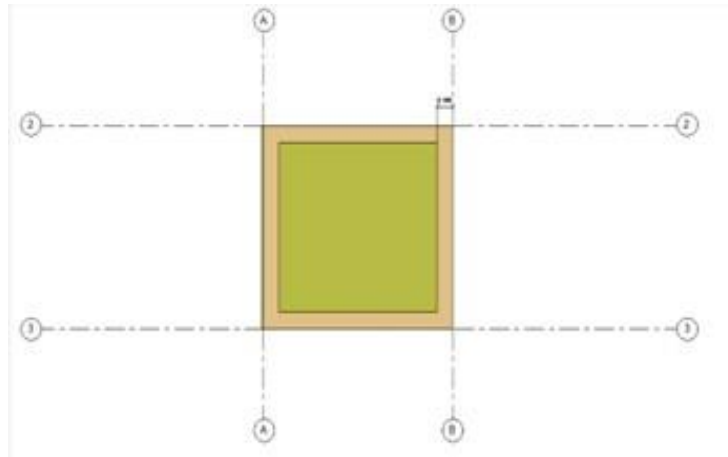


Fuente: Elaboración Propia.

Modelado BIM:

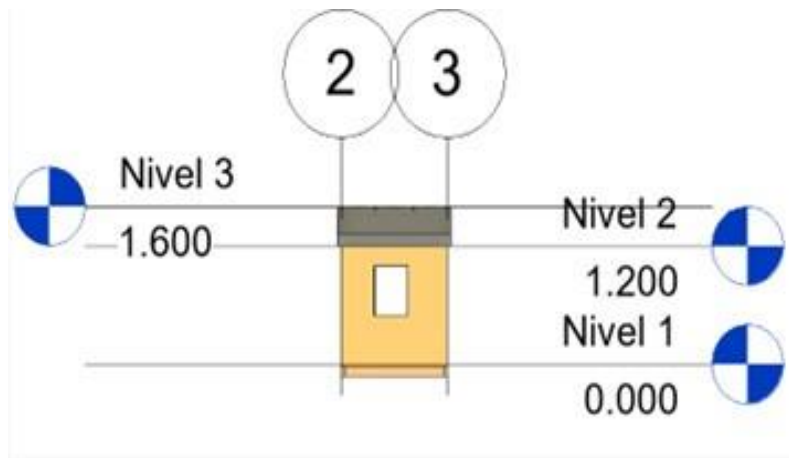
El uso de software como AutoCAD y Revit ha facilitado la generación de planos, cortes y vistas tridimensionales del proyecto, proporcionando una base sólida para la integración con el software de programación del brazo robótico. A continuación, se presentan las vistas del modelado BIM.

Figura 2.5 Plano planta de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.



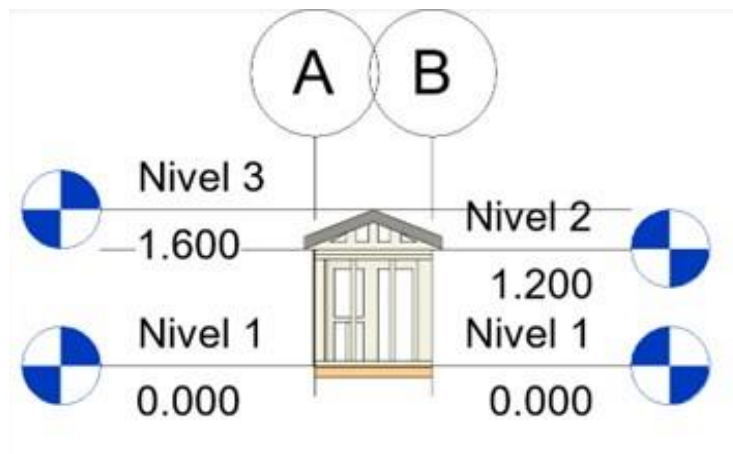
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.6 Alzado Este de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.



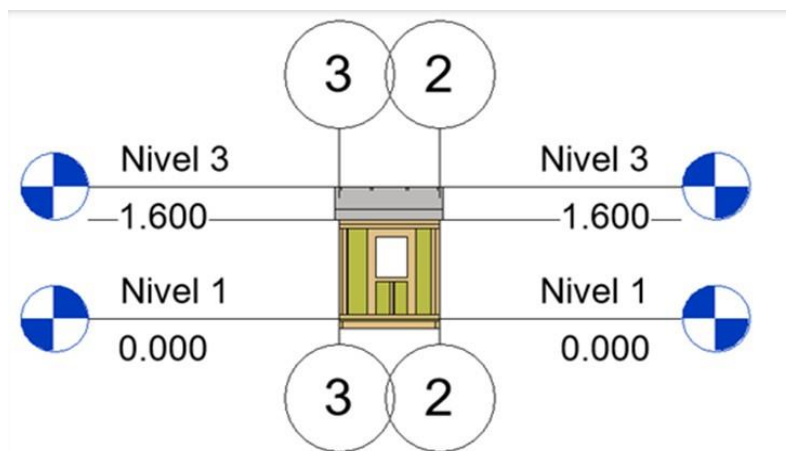
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.7 Alzado Sur de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.



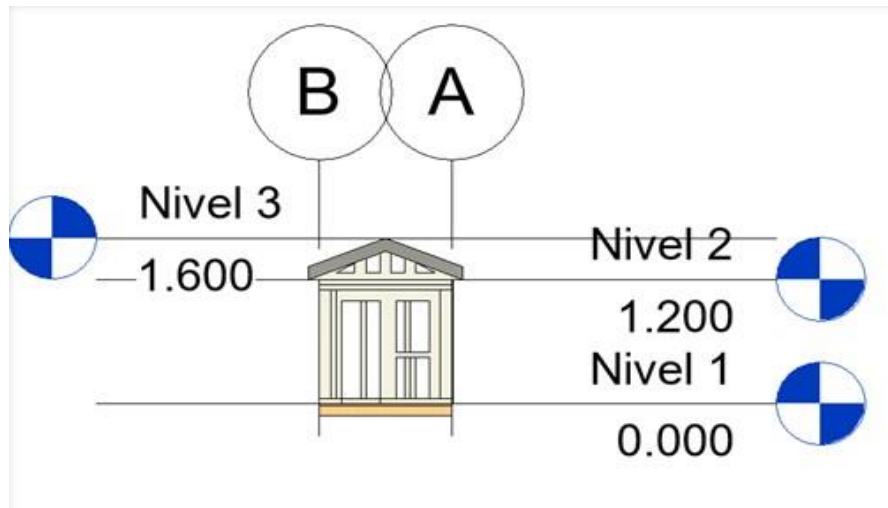
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.8 Alzado Oeste de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.



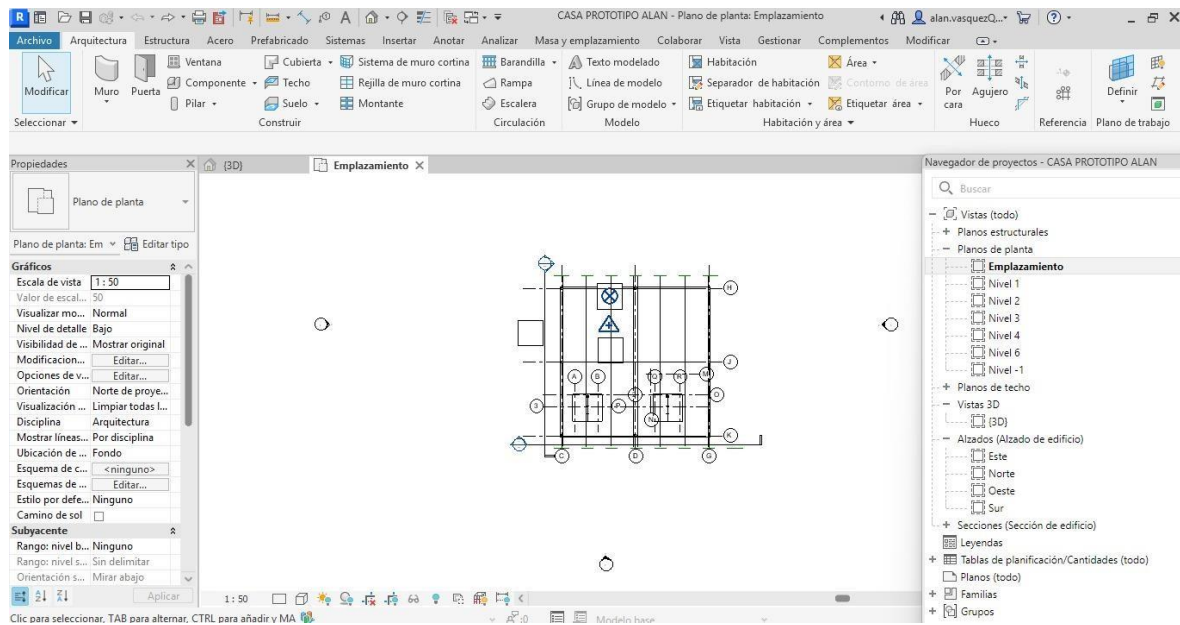
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.9 Alzado Norte de la vivienda prototipo del Departamento de Construcción.



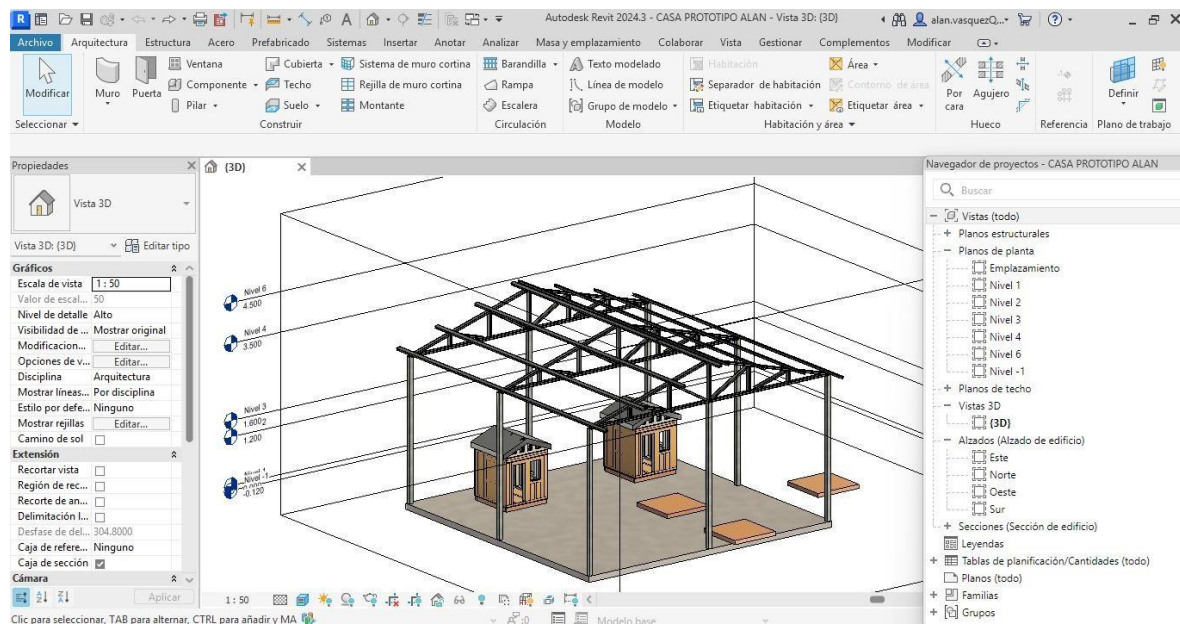
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.10 Vista Emplazamiento del Prototipo de la vivienda a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.11 Vista 3D del prototipo de la vivienda a escala del Departamento de Construcción.



Fuente: Elaboración Propia.

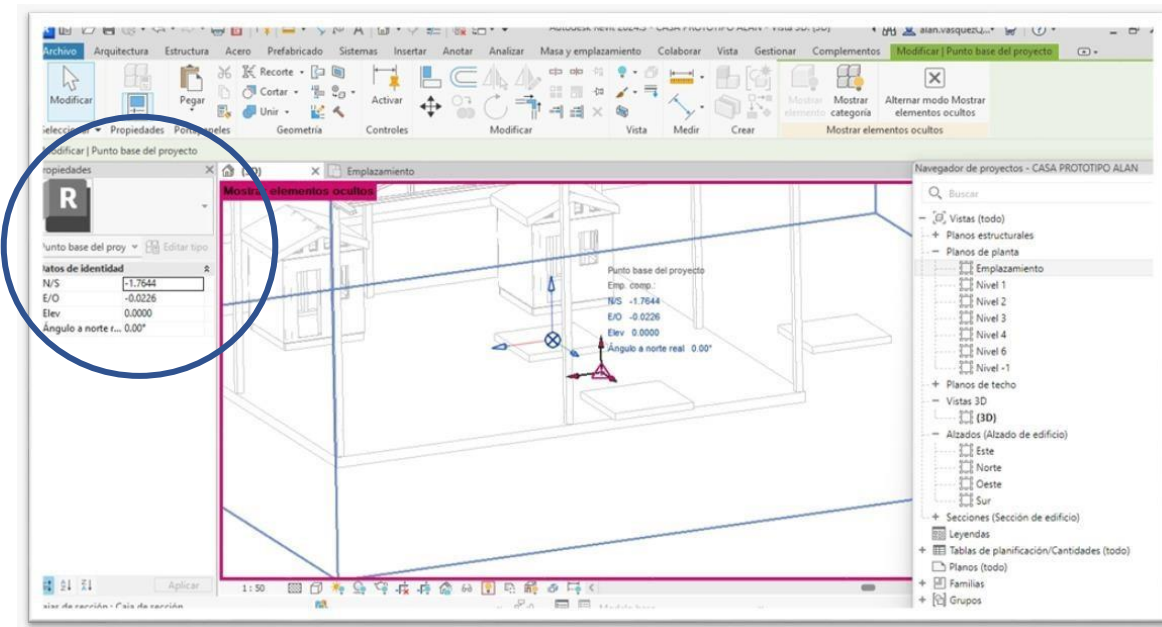
Capítulo 3: Integración del Modelo BIM al Software de Programación del Brazo Robótico KUKA KR 50 R2100.

La integración de tecnologías digitales en la construcción es un campo en constante evolución que busca generar nuevas formas de interacción entre el diseño y la ejecución.

En este capítulo se aborda el proceso de incorporación de un modelo BIM (Building Information Modeling) al software de programación del brazo robótico KUKA KR 50 R2100, con el objetivo de establecer una conexión efectiva entre el entorno virtual de diseño y las capacidades operativas del robot.

El modelo BIM proporciona un conjunto de coordenadas geográficas precisas (Norte-Sur, Este-Oeste, Elevación) que definen la ubicación exacta de los elementos estructurales, como las placas base de una estructura prototipo. Estas coordenadas deben ser transformadas a un sistema cartesiano (X, Y, Z), que es el formato requerido por el brazo robótico para interpretar las posiciones y realizar movimientos programados.

Figura 3, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM.



Fuente: Elaboración Propia

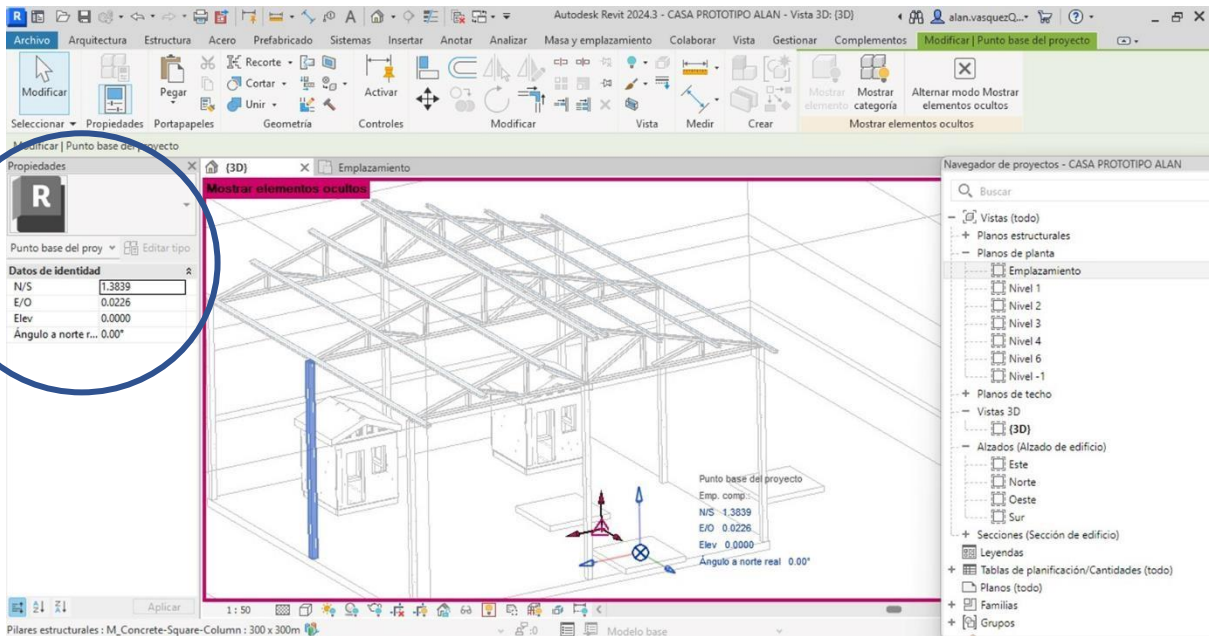
Coordenadas cartesianas, tabla 3.0 referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base

del modelo BIM. Unidades en milímetros.

X	Y	Z
-66,52	-1764,49	392,33

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.1 Imagen referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas cartesianas, Tabla 3.1 referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.

X	Y	Z
22,59	1383,9	752

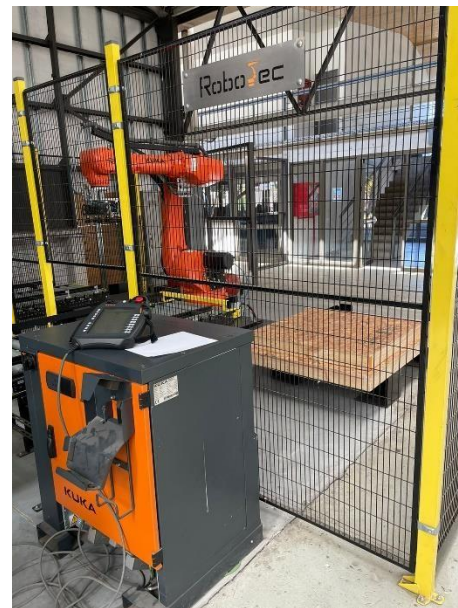
Fuente: Elaboración Propia

En la herramienta BIM utilizada (Autodesk Revit), se configuraron y visualizaron las coordenadas de cada placa base, asegurándose de que estas fueran precisas y consistentes con las dimensiones del modelo.

La Programación del Brazo Robótico KR 50 R2100:

El brazo robótico KR 50 R2100 utiliza un sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) para definir movimientos y realizar tareas específicas. Para incorporar las coordenadas provenientes del modelo BIM, se realizó una conversión de las coordenadas geográficas a cartesianas. Esta conversión permitirá al brazo robótico interpretar correctamente las ubicaciones de las placas base y ejecutar operaciones con precisión con ayuda del controlador y programador **KUKA KR C4**.

Figura 3.2 – 3.3 referente, controlador y programador KUKA KR C4.



Fuente: Elaboración Propia

El software de programación del brazo robótico incluye:

- Definición de posiciones base (#BASE) y herramientas (#TOOL) utilizadas.
- Uso de instrucciones de movimiento lineal (SLIN) y posicional (SPTP) para controlar los desplazamientos.
- Integración de datos geométricos del modelo BIM mediante la inserción manual de coordenadas cartesianas convertidas.
- Velocidades de movimiento de los distintos ejes tanto como para el Brazo y la herramienta del mismo.

Proceso de Integración:

Desde el modelo BIM, se extrajeron las coordenadas de cada placa base en formato N/S, E/O y Elevación. (Estas coordenadas se documentaron y validaron en el entorno de Revit, mostradas anteriormente).

Se convirtieron medidas de metros a milímetros, las coordenadas geográficas fueron convertidas a cartesianas (X, Y, Z) para que fueran compatibles con el software del brazo robótico.

Las coordenadas cartesianas fueron introducidas en la programación del brazo robótico utilizando las instrucciones apropiadas. En este paso, también se configuraron las velocidades, movimientos de los ejes, instrucciones, etc. Se logró con el objetivo de incorporar las coordenadas cartesianas extraídas del modelo BIM a la programación de este logrando el primer acercamiento para las posteriores pruebas experimentales entre el Brazo Robótico y los tabiques de la vivienda a escala del Departamento de construcción

Capítulo 4: Ejecución Práctica: Interacción del Brazo Robótico con los Procesos Constructivos.

En este capítulo se presenta la etapa final del proyecto, donde se lleva a cabo la aplicación práctica del software de programación para que el brazo robótico KUKA KR 50 R2100 intervenga directamente en las fases seleccionadas del proceso constructivo de la vivienda prototipo. Este proceso incluye la configuración de los parámetros específicos del software, la sincronización con el modelo BIM y la ejecución de las tareas previamente definidas.

Para la aplicación del software de programación KUKA KR 50 R2100, se inició con el proceso de construcción de los tabiques que serían evaluados. En este sentido, se diseñaron y construyeron los tabiques de madera a escala mostrados anteriormente, considerando cada especificación técnica.

Figura 4.0, Paso 2: Trazado y corte de madera.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.1, Paso 3: Ensamblaje de la estructura.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.2, Paso 4: Tabiquería.



Fuente: Elaboración Propia.

Peso aproximado: (Datos de pesos extraídos por ficha técnica de cada material. “Sodimac”). Datos que nos servirán para cumplir los parámetros de peso para el posterior levantamiento.

1. Tabique lado Oeste
2. Tabique Base

Tabla 4.0 referente a pesajes aproximados de los materiales de construcción.

PESO TABIQUERIA OESTE			
Madera cepillada seca 2x4"			
ML TOTALES	LARGO PIEZA	TOTAL DE PIEZAS	KG
10,1738	3,2	3,2	15,7
Peso de placa OSB 9MM			
Kg/m2	m2	Kg	Peso total estructura
6,5	1	6,5	22

PESO PLACA BASE			
Madera cepillada seca 2x4"			
ML TOTALES	LARGO PIEZA	TOTAL DE PIEZAS	KG
8,25	3,2	2,6	12,8
Peso de placa OSB 9MM			
Kg/m2	m2	Kg	Peso total estructura
6,5	1,44	9,36	22

Fuente: Elaboración Propia

En este punto fue necesario calcular las dimensiones de la herramienta del brazo robótico, se obtuvo la información del Departamento de informática, sección robótica de que esta fue creada para levantar el peso nominal establecido por la ficha técnica del KUKA KR 50 R2100.

Figuras 4.3 – 4.4, herramienta del Brazo Robótico KUKA KR 50 R2100.



120mm



340mm

Fuente: Elaboración Propia

Realización de ensayos de levantamiento: Se comienza con los ensayos donde previamente fueron programados.

1. Prueba inicial (6 bar):

Figura 4.5, Levantamiento de Tabique OESTE



Fuente: Elaboración Propia

Condiciones: Se utilizó una presión de vacío de 6 bar, con el centro de levantamiento ubicado sin considerar la solera superior del tabique.

Resultado: El sistema de ventosas no logró mantener el agarre adecuado, resultando en el desprendimiento parcial del tabique y su eventual caída. Se observó que la distribución del peso no estaba correctamente equilibrada.

Posibles Causas:

Punto de levantamiento “mal calculado”: No considerar la solera superior puede haber generado un desequilibrio en el punto de levantamiento. El centro de gravedad del tabique no estaba correctamente ubicado, lo que afectó la estabilidad.

Presión insuficiente: La presión de 6 bar puede no haber sido suficiente para asegurar un agarre fuerte y duradero, especialmente si el material tiene irregularidades o características que afectan el contacto de las ventosas.

2. Prueba ajustada (8 bar):

Figura 4.6, Levantamiento tabique OESTE.



Fuente: Elaboración Propia

Condiciones:

Se incrementó la presión de vacío a 8 bar y se recalculó el punto medio de levantamiento, considerando la solera superior del tabique.

Resultado:

El levantamiento fue exitoso, demostrando que un mayor nivel de presión y la correcta identificación del centro de gravedad son factores clave para garantizar la estabilidad y funcionalidad del sistema.

Posibles Causas del Éxito:

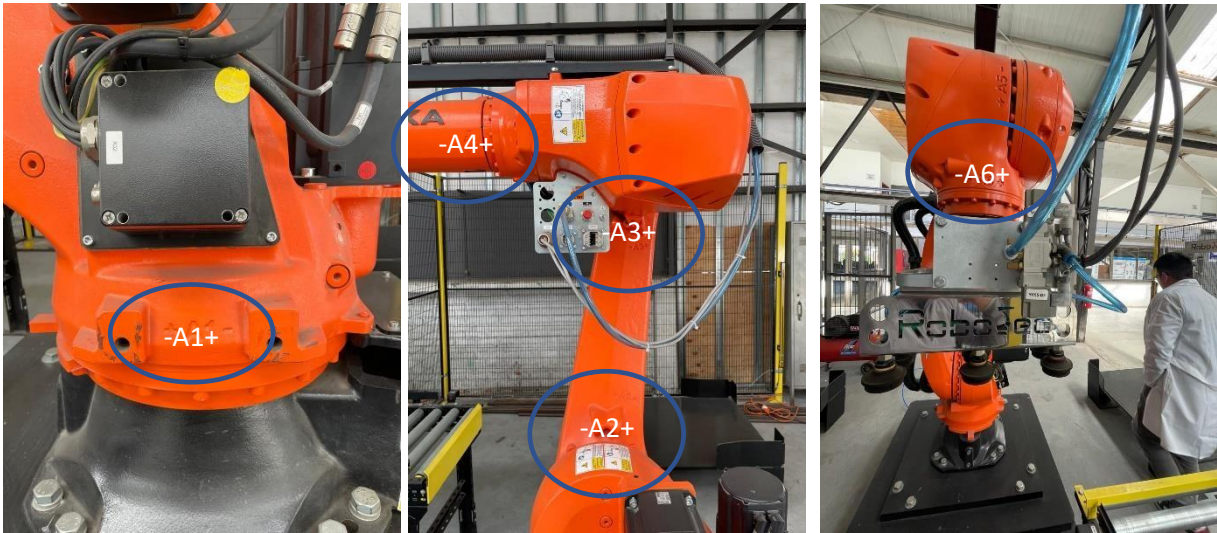
Al aumentar la presión a 8 bar, el sistema probablemente pudo crear un agarre más fuerte sobre la superficie del tabique, lo que redujo el riesgo de desprendimiento.

Al incluir la solera superior del tabique en el cálculo, se logró un mejor equilibrio y distribución del peso, lo que estabilizó la carga y evitó la caída del tabique.

Conclusiones las cuales se tomarán en consideración para el posterior levantamiento con coordenadas aplicadas al software de programación del KUKA R50 R2100:

El cálculo del punto de levantamiento debe considerar todos los elementos estructurales, como la solera superior (Tabique Oeste), ya que un pequeño error en la ubicación del centro de gravedad puede afectar significativamente el rendimiento del sistema de ventosas. Además, aumentar la presión de vacío y realizar un ajuste preciso del centro de gravedad son factores que pueden mejorar considerablemente la eficiencia del levantamiento. Sin embargo, es importante destacar que, en materiales como las placas de OSB, las irregularidades superficiales y la presencia de canales de aire dificultan el agarre no solo en el inicio, sino durante todo el proceso de vacío. Esto requiere un diseño y calibración cuidadosos del sistema de ventosas, asegurando un contacto óptimo y una distribución uniforme tanto de las ventosas como la presión para minimizar posibles fallos.

Figura 4.7, referente a ejes de brazo robótico KUKA KR R2100.



Fuente: Elaboración Propia.

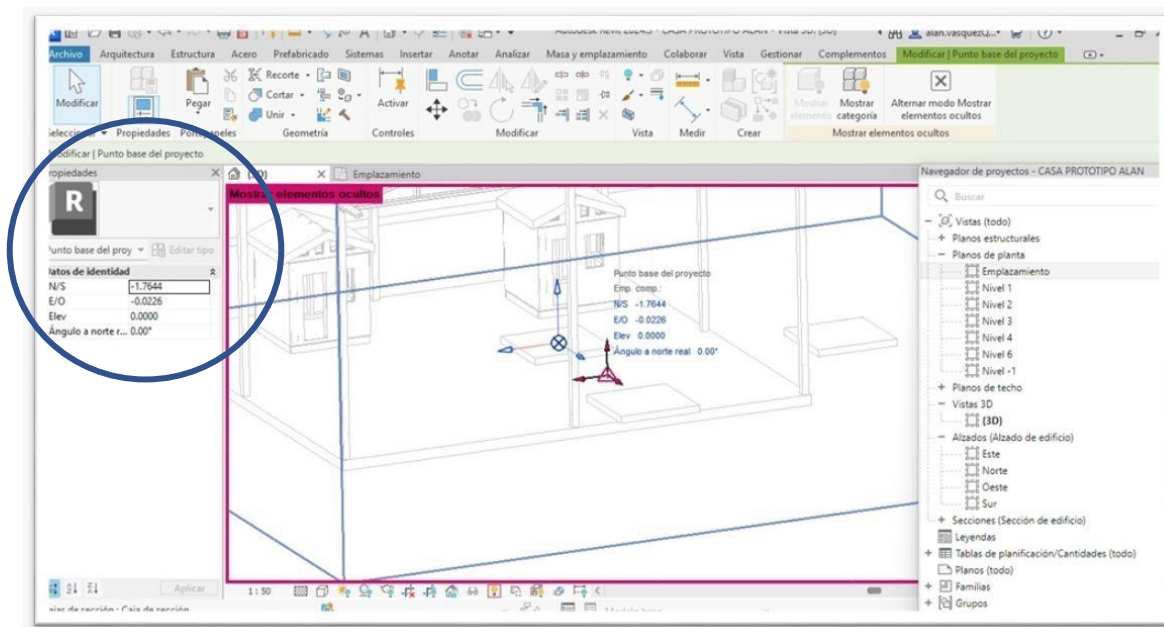
Programación para levantamiento de Tabique Oeste por KUKA KR C4:

1. ; TOMAR TABIQUE
2. SLIN P8 Vel=0.05 m/s CPDAT2 Tool [1]: Tool 1 Base [0]
3. WAIT Time= 0.5 sec
4. PULSE 208 'R_P_TOMAR_CAJA (activa vacío) ' State=True
 - i. Time= 0.1 Sec
5. WAIT Time= 4.0 Sec
6. ELEVAR UN POCO
7. SLIN P9 Vel = 0.005 m/s CPDAT3 Tool [1]: Tool1 Base [0]
8. ELEVAR MAS
9. SLIN P10 Vel = 0.1 m/s CPDAT4 Tool [1]: Tool1 Base [0]
10. MOV POS DEJAR
11. SPTP P13 Vel = 20% PDAT2 CPDAT4 Tool [1]: Tool1 Base [0]
12. BAJAR
13. SLIN P11 Vel = 0.1 m/s CPDAT5 Tool [1]: Tool1 Base [0]
14. PULSE 209 'R_P_SOLTAR (desactiva vacío)
15. State = true time= 0.1 sec
16. ELEVAS MAS

17. SLIN P12 Vel = 0.1 m/s CPDAT6 [1]: Tool1 Base [0]

Tras obtener estas conclusiones, se prosiguió con la metodología y se integraron a la programación las coordenadas necesarias para continuar con los movimientos automatizados del robot. Es importante destacar que la programación emplea dos sistemas de coordenadas: las coordenadas “mundo”, que corresponden a los ejes del robot, y las coordenadas “Tools”, que son específicas de la herramienta. Además, todos los movimientos están basados en los ejes X, Y, Z, asegurando la precisión en los desplazamientos tridimensionales.

Figura 4.8, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM.



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas cartesianas, tabla 4.0, referente a coordenadas geográficas Iniciales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.

X	Y	Z
-66,52	-1764,49	392,33

Fuente: Elaboración Propia

Tras realizar los primeros acercamientos con el brazo robótico y el tabique Oeste a escala, creado por cuenta propia en base a especificaciones y planos en AutoCAD de la vivienda prototipo del

Departamento de Construcción, se utilizó la misma programación inicial de levantamiento. Posteriormente, se ajustó la programación para automatizar los movimientos, empleando las coordenadas correspondientes para garantizar precisión en los desplazamientos.

Para que el brazo robótico KUKA KR 50 R2100 interpretara las ubicaciones del modelo BIM, fue necesario convertir las coordenadas geográficas a un sistema cartesiano tridimensional (X, Y, Z), como se dictó anteriormente, este paso fue esencial para garantizar la compatibilidad con el software del robot.

La conversión incluyó:

Escalamiento de las medidas de metros a milímetros, debido a que el robot utiliza este sistema de medida para mayor precisión.

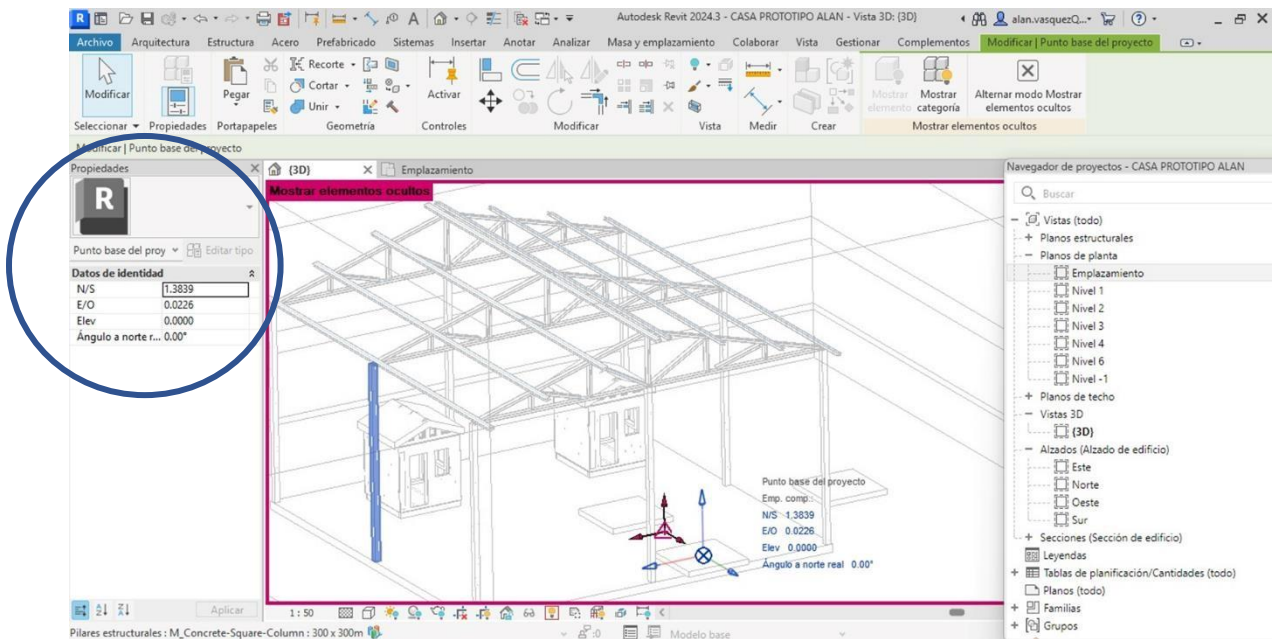
Ajuste de las elevaciones (Z) considerando tanto la altura base como los puntos de referencia superiores.

Figura 4.9, Posición Final, referencia de coordenadas de posición del Tabique Oeste



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.10 referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas cartesianas, Tabla 4.1, referente a coordenadas geográficas finales de la placa base del modelo BIM. Unidades en milímetros.

X	Y	Z
22,59	1383,9	752

Fuente: Elaboración Propia.

Programación Final:

Esta es la programación final implementada en el brazo robótico KUKA KR 50 R2100 para lograr la interacción directa entre el robot y el proceso de manipulación del tabique relacionado con la vivienda prototipo a escala.

El programa fue ejecutado utilizando el lenguaje específico del controlador KUKA, con una estructura que detalla cada etapa del proceso:

- Posicionamiento inicial y aproximación al área de trabajo.
- Activación del sistema de vacío para la toma del tabique.
- Movimientos coordinados para elevar, trasladar y posicionar el tabique en el lugar designado.
- Desactivación del sistema de vacío y retorno a la posición inicial.

Se priorizó la precisión y la seguridad del proceso, asegurando el cumplimiento de los parámetros establecidos para evitar daños tanto en el tabique como en el brazo robótico. Esta programación fue validada a través de pruebas repetitivas en un entorno controlado, comprobando su funcionalidad y eficiencia dentro del contexto del proyecto académico.

Figura 4.11, Programación Final de automatización de movimiento del KUKA K50 R2100.

```

1  &ACCESS RVP
2  &REL 74
3  &PARAM EDITMASK = *
4  &PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
5  &PARAM DISKPATH = KRC:\R1
6  DEF ALAN_TESIS( )
7  INI
18
19 ; POS INICIAL PALLET ;%{PE}
24 SPTP P1 VEL=20 % PDAT1 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
30
31 ; POS APROXIMACION ;%{PE}
36 SLIN P7 VEL=0.5 M/S CPDAT1 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
42 ; TOMAR TABIQUE ;%{PE}
47 SLIN P8 VEL=0.05 M/S CPDAT2 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
53 WAIT TIME= 0.5 SEC
59 PULSE 208 'R P TOMAR CAJA(ACTIVA VACIO)' STATE=TRUE TIME=0.1 SEC
65 WAIT TIME= 0.5 SEC
71 ; ELEVAR UN POCO ;%{PE}
76 SLIN P9 VEL=0.1 M/S CPDAT3 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
82 ; ELEVAR MAS ;%{PE}
87 SLIN P10 VEL=0.1 M/S CPDAT4 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
93 ; MOV POS DEJAR ;%{PE}
98 SPTP P13 VEL=20 % PDAT2 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
104 SPTP P14 VEL=20 % PDAT3 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
110 SPTP P15 VEL=20 % PDAT4 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
116 SLIN P16 VEL=0.15 M/S CPDAT7 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
122 ; BAJAR ;%{PE}
127 SLIN P11 VEL=0.1 M/S CPDAT5 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
133 PULSE 209 'R P SOLTAR CAJA(DESACTIVA VACIO)' STATE=TRUE TIME=0.1 SEC
139 ; ELEVAR MAS ;%{PE}
144 SLIN P12 VEL=0.5 M/S CPDAT6 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
150 ; VOLVER POS INI ;%{PE}
155 SPTP P17 VEL=20 % PDAT5 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
161 SPTP P18 VEL=20 % PDAT6 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
167 SPTP P19 VEL=20 % PDAT7 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
173 ; POS INICIAL PALLET ;%{PE}
178 SPTP P20 VEL=20 % PDAT8 TOOL[1]:TOOL1 BASE[0]
184 END

```

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusión

El objetivo principal de esta investigación, lograr una interacción efectiva entre un brazo robótico y los procesos constructivos de una vivienda prototipo a escala, fue alcanzado con éxito. Desde el inicio, se trabajó de manera sistemática en la exploración y adaptación de los brazos robóticos disponibles en la sección de robótica del Departamento de Informática, evaluando su potencial para integrarse con los procesos constructivos del Departamento de Construcción.

Tras un análisis exhaustivo, se determinó que el brazo robótico **KUKA KR50 R2100** era el más adecuado para esta tarea, aunque se enfrentó el desafío de trabajar con su herramienta predeterminada, la cual no era modificable. A pesar de esta limitación, se continuó con el plan inicial de unir ambos mundos, marcando un primer paso en un terreno poco explorado.

Un aspecto clave para el desarrollo exitoso de este proyecto fue la colaboración con los alumnos de la sección de robótica. Su apoyo fue fundamental, ya que, al comienzo de la investigación, el conocimiento sobre el brazo robótico era superficial. Gracias a esta interacción, fue posible comprender en profundidad su funcionamiento, sus capacidades y cómo programarlo para adaptarlo a los requerimientos de los procesos constructivos.

El trabajo incluyó la creación de un modelo BIM a partir de los planos en AutoCAD de la vivienda prototipo, con el apoyo de las instalaciones del Departamento de Construcción. Este modelo BIM permitió extraer coordenadas clave que posteriormente se emplearon en la programación del robot. Además, el estudio y la implementación de la programación del **KUKA KR50 R2100** fueron fundamentales para garantizar la integración exitosa entre el modelo BIM y los movimientos del robot.

Las pruebas experimentales representaron la etapa más crucial de la investigación, ya que permitieron validar la eficiencia del sistema y la viabilidad de esta interacción. Los resultados demostraron que el modelo BIM, junto con sus coordenadas, se adaptó de manera eficiente al lenguaje de programación del robot, permitiendo realizar movimientos precisos y alineados con los procesos constructivos.

Este proyecto representa un hito significativo al ser el primer intento de integrar la robótica en los procesos constructivos del Departamento de Construcción, marcando el inicio de un camino hacia

la innovación en la construcción mediante la automatización y la robótica, y destacando el valor del trabajo colaborativo interdisciplinario para superar desafíos técnicos y conceptuales.