

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Levantamiento aerofotogramétrico del Edificio 10 de la EPN utilizando el RPAS Atyges FV8, para el modelamiento 3D externo; y levantamiento LiDAR para modelamiento 3D interno.

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, MENCIÓN ESTRUCTURAS

AUTOR: JONATHAN ALEXANDER CERVANTES VILLACIS

jonathan.cervantes@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PINTO GAIBOR PABLO ALEJANDRO, M.Sc.

pablo.pinto@epn.edu.ec

Quito, marzo 2023

DECLARACIÓN

Yo Jonathan Alexander Cervantes Villacis, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

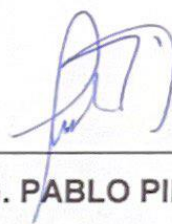
La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



JONATHAN ALEXANDER CERVANTES VILLACIS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por Jonathan Alexander Cervantes Villacis, bajo mi supervisión.



ING. PABLO PINTO, M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A mi padre y madre, quienes nunca han dejado de creer en mí y son las personas a quienes más admiro, esto es para ustedes.

A mi esposa, mujer virtuosa, de amor y apoyo sin medida, esto sin ti no hubiese sido posible, amor de mi vida.

A mi hija Sarah, mi princesa, quien siempre me admira sin importar mis falencias, siempre seré tu eterno amor y tu héroe, para ti también es este logro.

***Con amor, gratitud y honra
Jonathan Alexander Cervantes Villacís***

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios, al dador de todo y a quién debo mi vida entera, por darme las fuerzas para no rendirme y cuidar de mí y mi familia en todo este largo proceso.

A mi hermoso hogar, mi esposa Emily y mi hija Sarah, por ser ese puntal en nuestra familia lleno de amor y comprensión hacia mí, que nunca dejaron que me rinda.

A mis padres, Freddy y Alexandra, por criar y formar al hombre que soy hoy en día, desde su ejemplo como padres, la fe a Dios, hasta el amor sin condición que me dieron toda la vida.

A mi abuelita Lida, por ese cariño tan incomparable hacia mí cada vez que la veo, por nunca dejar de creer en mí y por ser simplemente la grandiosa mujer que ya es, la amo mucho.

A mis suegros, Alfonso y Norma, por llegar a ser mis otros padres, donde siempre encuentro apoyo y oración por mí y mi familia cada día.

Al Ingeniero Jenry Córdova y al Ingeniero Pablo Pinto, su sabiduría y paciencia a lo largo de toda la realización de este proyecto, han sido perlas de oro para mi formación profesional, los admiro y respeto.

Al ingeniero Jorge Vintimilla, el ingeniero Civil que más he admirado en toda esta formación profesional, quién me apoyó con su amistad y trabajo cuando sentí que todo estaba perdido debido a mi situación, por su habilidad con la música y su empatía admirable.

A todos los miembros de El Combo del Rey, con quienes hemos viajados por muchos países, los quiero como si fueran mi otra familia.

***Con todo mi cariño y respeto
Jonathan Alexander Cervantes Villacís***

ÍNDICE

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE ANEXOS	XVI
LISTA DE TABLAS	XVII
SIMBOLOGÍA	XVIII
RESUMEN	XIX
ABSTRASCT	XXI
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	2
1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	2
1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	3
1.3 HIPÓTESIS	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CÁPITULO 2 MARCO TEÓRICO	5

2.1	MARCO TEÓRICO	5
2.1.1	EXACTITUD Y PRECISIÓN	5
2.1.2	FOTOGRAMETRÍA.....	6
2.1.2.1	Fotogrametría terrestre.....	7
2.1.2.2	Fotogrametría aérea	7
2.1.3	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO.....	8
2.1.3.1	Marco legal.....	9
2.1.3.2	Tipos de UAV	10
2.1.3.3	Componentes físicos de los UAVs.....	11
2.1.3.4	UAV Multirotor ATYGES RPAS FV8 TOPODRON	13
2.1.3.5	Usos y aplicaciones de los UAVs en la ingeniería	15
2.1.4	PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE.....	16
2.1.5	PROGRAMAS PARA PROCESAMIENTO DE	
	FOTOGRAMETRÍA CON UAV	18
2.1.5.1	Agisoft PhotoScan	18
2.1.5.2	Modelo digital de Terreno	20
2.1.5.3	Modelo digital de elevación.....	20
2.1.5.4	ORTOFOTO	22
2.2	ESTADO DEL ARTE	23
2.2.1	LiDAR.....	23
2.2.2	Uso de LiDAR en el Ecuador.....	26
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA		28
2.3	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
2.3.1	ANTECEDENTES	28
2.3.2	UBICACIÓN	29
2.3.3	DESCRIPCIÓN ARQUITÉCTONICA.....	30

2.3.4 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL	32
2.4 EQUIPOS Y MATERIALES	33
2.4.1 UAV ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK 34	
2.4.2 CÁMARA SONY α6000.....	35
2.4.3 SISTEMA con RECEPTOR INTEGRADO GNSS TRIMBLE R8s	39
2.5 TRABAJO DE CAMPO.....	40
2.5.1 GENERACIÓN DE PUNTOS GPS.....	40
2.5.2 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE	43
2.5.3 PLAN DE VUELO	47
2.5.3.1 Altura de vuelo.....	47
2.5.3.2 Plan de vuelo con el programa Ground Control	48
2.5.4 VUELO DEL UAV ATYGES FV8	49
2.5.5 LEVANTAMIENTO DE ESPACIOS INTERIORES.....	50
2.5.5.1 Escaneo interior con LiDAR del iPhone	51
2.5.6 MEDICIÓN DE DISTANCIAS PARA GEORREFERENCIACIÓN EXTERIOR CON ESPACIOS INTERIORES.	58
2.6 TRABAJO DE GABINETE.....	59
2.6.1 PROCEDIMIENTO CON AGISOFT PHOTOSCAN ..	60
2.6.1.1 Procesos preliminares	60
2.6.1.2 Orientación de fotografías del UAV con Agisoft Photoscan	61
2.6.1.3 Nube densa de puntos con Agisoft Photoscan	64

2.6.1.4	Generación de malla.....	65
2.6.1.5	Construcción de textura.....	65
2.6.1.6	Modelo de teselas.....	66
2.6.1.7	Modelo digital de elevaciones.....	66
2.6.1.8	Ortomosaico	66
2.6.2	DIAGRAMACIÓN DE PLANOS.....	67
2.6.2.1	Diagramación del levantamiento externo con UAV	67
2.6.2.2	Diagramación del levantamiento interno con LiDAR	70
2.6.3	MODELACIÓN BIM EN REVIT	72
2.6.3.1	Modelación estructural.....	73
2.6.3.2	Modelación arquitectónica	76
2.6.3.3	Modelación topográfica y georreferenciación.....	81
CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....		84
4.1	AEROFOTOGRAMETRÍA Y ORTOFOTO	84
4.1.1	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES.....	84
4.1.2	ORTOMOSAICO	85
4.2	LEVANTAMIENTO INTERNO LiDAR.....	86
4.3	DIAGRAMACIÓN DE PLANOS	88
4.4	MODELACIÓN BIM EN REVIT	89
4.5	RESULTADOS DE ENCUESTA	90
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		95
5.1	LEVANTAMIENTO AROFOTOGRAMÉTRICO.....	95
5.1.1	CONCLUSIONES.....	95

5.1.2 RECOMENDACIONES	96
5.2 LEVANTAMIENTO INTERIOR CON LiDAR	97
5.2.1 CONCLUSIONES.....	97
5.2.2 RECOMENDACIONES	98
5.3 MODELACIÓN BIM EN REVIT	99
5.3.1 CONCLUSIONES.....	99
5.3.2 RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS	108

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIFERENCIA ENTRE PRECISIÓN Y EXACTITUD	6
FIGURA 2. FOTOGRAMETRÍA AÉREA.....	7
FIGURA 3. MODELO DE BLANCO AÉREO QUEEN BEE DESARROLLADO POR GRAN BRETAÑA.	8
FIGURA 4. PRINCIPALES TIPOS DE UAVS	10
FIGURA 5. UAV DE ALA FIJA.....	11
FIGURA 6. UAV DE ALA ROTATIVA	11
FIGURA 7. COMPONENTES FÍSICOS DEL UAV	11
FIGURA 8. MULTIROTOR ATYGES RPAS FV8 TOPODRON	13
FIGURA 9. PUNTO DE CONTROL DESDE LA SUPERFICIE	17
FIGURA 10. PUNTO DE CONTROL DESDE EL UAV	17
FIGURA 11. INTERFAZ DE AGISOFT PHOTOSCAN.....	19
FIGURA 12. UTILIZACIÓN DE LA DIFERENCIA DE PARALAJE EN RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.....	22
FIGURA 13. UTILIZACIÓN DE LA DIFERENCIA DE PARALAJE EN RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.....	22
FIGURA 14. FOTOGRAFÍA SIN CORRECCIÓN	23
FIGURA 15. ORTOFOTO.	23
FIGURA 16. SENSOR LIDAR ADAPTABLE A UAV.	24
FIGURA 17. SENSOR LIDAR EN UN DJI M300.....	25
FIGURA 18. SENSOR LIDAR EN UN IPHONE 13 PRO-MAX	26
FIGURA 19. UBICACIÓN DE EDIFICIO 10 HIDRÁULICA	28
FIGURA 20. EDIFICIO 10 DE HIDRÁULICA ACTUALMENTE.....	29
FIGURA 21. UBICACIÓN DE EDIFICIO 10 HIDRÁULICA	30
FIGURA 22. VISTA EN PLANTA DEL EDIFICIO DE HIDRÁULICA.....	30
FIGURA 23. VIGAS ACARTELADAS DEL EDIFICIO DE HIDRÁULICA	33
FIGURA 24. ESTUCHE RÍGIDO Y EL ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK	34

FIGURA 25. CÁMARA SONY A6000.....	36
FIGURA 26. PROPIEDADES DE FOTOGRAFÍA CON LA CÁMARA SONY A6000	39
FIGURA 27. SISTEMA CON RECEPTOR INTEGRADO GNSS TRIMBLE R8S	40
FIGURA 28. ESTACIÓN QUI1	41
FIGURA 29. TOMA DE PUNTO DE CONTROL IGM	42
FIGURA 30. UBICACIÓN DE PUNTO DE CONTROL IGM	43
FIGURA 31. UBICACIÓN REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL TERRESTRES.	44
FIGURA 32. COLOCACIÓN EN CAMPO DE LOS GCP	45
FIGURA 33. LONA PARA REPRESENTACIÓN DE LOS GCP EN LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS.	46
FIGURA 34. PLAN DE VUELO EN GROUND CONTROL	48
FIGURA 35. DESPEGUE DEL UAV	49
FIGURA 36. EQUIPOS PARA MEDICIONES DE LEVANTAMIENTO INTERNO	50
FIGURA 37. LEVANTAMIENTO CON DISTANCIÓMETRO Y CINTA MÉTRICA EN CAMPO.....	51
FIGURA 38. PANTALLA PRINCIPAL DE 3D SCANNER APP	52
FIGURA 39. OPCIONES DE ESCANEADO AVANZADO EN 3D SCANNER APP	53
FIGURA 40. ESCANEADO EN TIEMPO REAL CON LIDAR	53
FIGURA 41. RESULTADO DEL ESCANEADO CON LIDAR	54
FIGURA 42. PROCESAMIENTO DE ADICCIÓN DE TEXTURA DEL ESCANEADO CON LIDAR	55
FIGURA 43. RESULTADO DE ESCANEADO LIDAR EN 3D.....	55
FIGURA 44. OPCIONES DE EXPORTACIÓN DE ARCHIVO DE ESCANEADO LIDAR.....	56
FIGURA 45. LEVANTAMIENTO DEL ESCANEADO LIDAR, ARCHIVO DXG.....	57

FIGURA 46 RESULTADO DE LEVANTAMIENTO CON TRIANGULACIONES	57
FIGURA 47. 4UNTOS PARA GEORREFERENCIACIÓN INTERNA	58
FIGURA 48. MEDICIÓN DE PUNTOS PARA GEORREFERENCIACIÓN INTERNA	59
FIGURA 49. ESPECIFICACIONES DE LA WORK STATION.....	60
FIGURA 50. ACTIVACIÓN DE LA TARJETA GRÁFICA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	61
FIGURA 51. SELECCIÓN DE FOTOGRAFÍAS EN AGISOFT PHOTOSCAN. .	61
FIGURA 52. ORIENTACIÓN DE FOTOGRAFÍAS.	62
FIGURA 53. NUBE DE PUNTOS DISPERSA.	62
FIGURA 54. CONFIGURACIÓN DE SISTEMA DE COORDENADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	63
FIGURA 55. GCP INGRESADOS EN AGISOFT PHOTOSCAN.	63
FIGURA 56. GCP COLOCADOS EN LAS FOTOGRAFÍAS.....	64
FIGURA 57. NUBE Densa DE PUNTOS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	65
ELABORACIÓN: (CERVANTES, 2022).....	65
FIGURA 58. TEXTURA EN VISTA 3D DEL EDIFICIO 10 EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	65
FIGURA 59. ORTOMOSAICO GENERADO EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	67
FIGURA 60. COLOCACIÓN DEL ORTOMOSAICO EN AUTOCAD.	68
FIGURA 61. COLOCACIÓN DEL ORTOMOSAICO EN AUTOCAD.	68
FIGURA 62. MEDICIÓN DE BORDE DE REFERENCIA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	69
FIGURA 63. BORDES DEL EDIFICIO ESCALADOS EN AUTOCAD.....	69
FIGURA 64. CORRECCIÓN DE LOS BORDES CORRESPONDIENTES A ESPACIOS INTERNOS EN AUTOCAD.	70
FIGURA 65. COMPARACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE BORDES CORREGIDOS Y BORDES SIN CORREGIR EN AUTOCAD.	71
FIGURA 66. PLANO DEL NIVEL +0.00 DIAGRAMADO EN AUTOCAD.....	72
FIGURA 67. OBTENCIÓN DE NIVELES EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	73

FIGURA 68. DIAGRAMACIÓN ESTRUCTURAL DE COLUMNAS EN REVIT.	75
FIGURA 69. DIAGRAMACIÓN ESTRUCTURAL DE VIGAS EN REVIT.....	75
FIGURA 70. ESTRUCTURA DEL EDIFICIO 10 EN REVIT.	76
FIGURA 71. MAMPOSTERÍA EXTERIOR EDIFICIO 10 SIN ORIFICIOS EN REVIT.....	78
FIGURA 72. MAMPOSTERÍA INTERIOR DEL SUBSUELO EDIFICIO 10 EN REVIT.....	79
FIGURA 73. COMPLEMENTOS DEL EDIFICIO 10 INTERIORES Y EXTERIORES EN REVIT.....	80
FIGURA 74. CARAS DE LA ESTRUCTURA DE COLOR NO EDITABLE EN EL ARCHIVO DE ARQUITECTURA EN REVIT	80
FIGURA 75. ASIGNACIÓN DE COLOR EN EL ARCHIVO DE ESTRUCTURA EN REVIT.....	80
FIGURA 76. MODELO ARQUITECTÓNICO DEL EDIFICIO 10 EN REVIT SIN INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....	81
FIGURA 77. UBICACIÓN, COORDENADAS Y ÁNGULO RELATIVO DEL NORTE PARA GEORREFERENCIÓ EN REVIT.....	82
FIGURA 78. COMPARACIÓN Y SUPERPOSICIÓN DE ORIENTACIÓN DEL NORTE EN REVIT Y ORTOFOTO.	83
FIGURA 79. MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES EN AGISOFT PHOTOSCAN EN PERSPECTIVA 3D.	84
FIGURA 80. DIFERENCIA DE LOS ORTOMOSAICOS OBTENIDOS.	85
FIGURA 81. RESULTADO FINAL ORTOMOSAICO	86
FIGURA 82. RESULTADO DE ESCANEEO LIDAR EN ESPACIO INTERNO	87
FIGURA 83. FORMATOS COMPATIBLES DEL RESULTADO DE ESCANEEO LIDAR.....	88
FIGURA 84. VISTA EN PLANTA DE ESPACIO ESCANEADO CON LIDAR....	88
FIGURA 85. PLANO EN VISTA EN PLANTA N+0,00.....	89
FIGURA 86. MODELO FINAL DEL EDIFICIO 10 EN REVIT	90
FIGURA 87. RESULTADO DE ENCUESTA PREGUNTA 1.....	91

FIGURA 88. RESULTADO DE LA ENCUESTA PREGUNTA 3.....	91
FIGURA 89. RESULTADO DE LA ENCUESTA PREGUNTA 5.....	92
FIGURA 90. RESULTADO DE LA ENCUESTA PREGUNTA 6.....	92
FIGURA 91. RESULTADO DE LA ENCUESTA PREGUNTA 7.....	93
FIGURA 92. RESULTADO DE LA ENCUESTA PREGUNTA 8.....	93

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I. “REGLAMENTO DE OPERACIÓN DE AERONAVES PILOTADA A DISTANCIA (RPAS)”	109
ANEXO II. “PLANOS GENERADOS EN REVIT”	114
ANEXO III. “ESTACIÓN PERMANENTE DEL IGM”	126
ANEXO IV. “RESULTADOS DE ESCANEOS CON LIDAR”	128
ANEXO V. “SOLICITUD DE SERVICIOS PARA ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN, DOCENCIA Y/O SERVICIOS DE LA EPN”.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO VI. “TABLAS DE PLANIFICACIÓN DE CANTIDADES DE MATERIALES DE REVIT”	132

LISTA DE TABLAS

TABLA1 COMPONENTES FÍSICOS DEL UAV	12
TABLA2 CARACTERÍSTICAS DEL MULTIROTOR ATYGES RPAS FV8 TOPODRON	13
TABLA3 COORDENADAS DE ESTUDIO.....	29
TABLA4 USO DE ESPACIOS DEL EDIFICIO 10.....	31
TABLA5 VISTAS DEL EDIFICIO 10	32
TABLA6 CARACTERÍSTICAS DEL ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK	35
TABLA7 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA CÁMARA SONY A6000.....	36
TABLA8 LISTA DE PUNTOS BASE E IGM.....	42
TABLA9 COORDENADAS DE GCP.....	46
TABLA 10 NIVELES DE ESTRUCTURA.....	73
TABLA 11 NIVELES DE ARQUITECTURA.....	77

SIMBOLOGÍA

EPN	Escuela Politécnica Nacional
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de aeronave pilotada a distancia)
PPK	Post Processed Kinematic (Cinemática postprocesado)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)
DTM	Digital Terrain Model (Modelo digital de terreno)
CAD	Computer Aided Design (Diseño asistido por ordenador)
FICA	Facultad de Ingeniería civil y ambiental
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
DJI	Dà-Jiāng Innovations
CIERHI	Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Información Geográfica
GCP	Ground Control Points (Puntos de Control Terrestre)
MDT	Modelo Digital del Terreno
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
DEM	Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevaciones)
LIDAR	Light Detection and Ranging (Detección y Medición de la Luz)
IGM	Instituto Geográfico Militar
UTM	Universal Transverse Mercator
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
LEMSUR	Laboratorio de Ensayos físico-mecánicos de Materiales de construcción, Suelos y Rocas
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema global de navegación por satélite)
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Transporte en red de datos en formato RTCM vía protocolo de Internet)
WGS	World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial)

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar herramientas innovadoras de la ingeniería, dentro del levantamiento de información como son: la aerofotogrametría para levantamientos topográficos, el LiDAR (Light Detection and Ranging) para levantamientos en interiores, y la modelación BIM; para el Edificio 10 de Hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional; como base para proponer en futuros proyectos una remodelación integral más eficiente y precisa.

El proyecto inició con el levantamiento topográfico del Edificio 10 y sus alrededores, con la técnica de la aerofotogrametría, usando el UAV de altas prestaciones Atyges topodron FV8 PPK y el GNSS TRIMBLE R8s a cargo del LEMSUR de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN, con el fin de obtener a través del procesamiento de las fotografías, un modelo digital de elevaciones y el ortomosaico con ángulo de norte georreferenciado, en el software Atyges Photoscan en un computador de altas prestaciones del CIERHI. Este primer paso permite obtener los niveles del edificio que consta de 3 terrazas y el perímetro de la infraestructura.

La información del levantamiento de los espacios interiores del Edificio 10 se realizó a través de una innovadora y relativamente nueva tecnología incorporada en el iPhone 13 PRO MAX que es el sensor LiDAR. El levantamiento interno se lo realizó con el fin de modelar los planos en planta de cada piso.

Con los datos recolectada en campo y procesada en el CIERHI y en el computador del autor, se procedió al modelado 3D usando herramientas CAD (AutoCAD) y herramientas BIM, (REVIT). El resultado de este trabajo es un modelo 3D especial que tiene inmerso mucha información de las entidades modeladas y del conjunto en general. Esta información permitiría a la EPN planificar sus remodelaciones, reforzamientos y/o construcciones nuevas de una manera más eficaz y eficiente, ahorrando recursos en todo el proceso.

Palabras clave: Aerofotogrametría, Vehículo aéreos no tripulados, topografía, LiDAR, BIM, Revit.

ABSTRASCT

The objective of this work is to use innovative engineering tools, within information gathering, such as: aerial photogrammetry for topographic surveys, LiDAR (Light Detection and Ranging) for indoor surveys, and BIM modeling; for Hydraulics Building 10 of the National Polytechnic School; as a basis for proposing a more efficient and precise comprehensive remodeling in future projects.

The project began with the topographic survey of Building 10 and its surroundings, with the aerial photogrammetry technique, using the high-performance UAV Atyges topodron FV8 PPK and the GNSS TRIMBLE R8s by LEMSUR of the Faculty of Civil and Environmental Engineering of the EPN, in order to obtain, through the processing of the photographs, a digital model of elevations and the orthomosaic with a georeferenced north angle, in the Atyges Photoscan software on a high-performance computer from CIERHI. This first step allows obtaining the levels of the building consisting of 3 terraces and the perimeter of the infrastructure.

The information from the survey of the interior spaces of Building 10 was carried out through an innovative and relatively new technology incorporated into the iPhone 13 PRO MAX, which is the LiDAR sensor. The internal survey was carried out in order to model the floor plans of each floor.

With the data collected in the field and processed in CIERHI and in the author's computer, 3D modeling was carried out using CAD tools (AutoCAD) and BIM tools (REVIT). The result of this work is a special 3D model that has embedded a lot of information about the modeled entities and the whole in general. This information would allow the EPN to plan its renovations, reinforcements and/or new constructions in a more effective and efficient way, saving resources throughout the process.

Keywords: Aerial photogrammetry, Unmanned aerial vehicles, topography, LiDAR, BIM, Revit.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, es muy usual y común el uso de drones para realizar un levantamiento topográfico. Debido al avance tecnológico, existe una gran variedad de modelos de RPAS y también software de procesamiento que finalmente permiten tener productos de calidad en el área del levantamiento.

Estos avances de la ciencia han desarrollado la necesidad de incorporarlos en instituciones educativas de Ingeniería Civil para una mejor formación profesional. La jefatura de Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional en respuesta a esta necesidad adquirió un dron marca Atyges RPAS fv8 Topodron Multirotor PPK especialmente creado para el uso profesional en topografía de precisión.

El uso y la aplicabilidad de la fotogrametría con UAV o drones para estudios ingenieriles han proporcionado resultados confiables, además de obtenerlos en un corto periodo de tiempo, a bajos costos y con un mínimo trabajo de campo (Duarte, 2018).

La Facultad de ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, busca con este estudio realizar un levantamiento 3D de infraestructura existente destinada al área de hidráulica, para posteriormente realizar una propuesta de mejora de los espacios destinados físicos.

La infraestructura existente, es el Edificio 10 de la EPN, que tiene más de 40 años de antigüedad y requiere de manera urgente una propuesta de remodelación para el mejor uso de sus espacios en el corto plazo.

Actualmente el edificio tiene uso para actividades Docentes, proyectos de Titulación para Pregrado y Postgrado, Ensayos en Tuberías, Mediciones y Calibración, Equipamiento Especial y canal Hidrodinámico. (EPN, 2022)

Este modelamiento de los espacios interiores en 3D se lo realizará en Autodesk REVIT tomando información topográfica con tecnología de punta tipo LIDAR y se reflejará con entregables que permitan hacer términos de referencia para una posterior contratación de obras.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este trabajo busca realizar un levantamiento topográfico y planimétrico para generar un Modelo Digital del Terreno (DTM) y un modelo digital del Edificio 10 de la EPN.

Es importante recalcar que el uso del RPAS proporciona una reducción en el tiempo de ejecución en la toma de puntos en el terreno, abarcando una mayor área en un solo vuelo. (Fernández Lozano & Gutiérrez Alonso, 2016).

Se puede encontrar que este dron profesional de máximas prestaciones en forma octocóptero, cuenta con sistemas modernos como la herramienta de topodron que permite mediante el empleo de gafas anaglifo, o mediante sistemas activos de visión estereoscópica, realizar dibujos continuos en 2D y en 3D en formato CAD para poder realizar restituciones y planos de topografía, también realización de vuelos automáticos almacenados en la aeronave y el envío en caliente sin la necesidad de PC o tableta externa en el campo. (ATYGES, 2021)

Como complemento al levantamiento con aerofotogramétrico externo del edificio, se realizará un levantamiento interno de toda la infraestructura para obtener planos a detalle de cada planta. Esta información se levantará con misma, mismo que puede ser LIDAR, estación total o distanciómetro laser.

Todo el trabajo se lo modelará en REVIT y los resultados se pretende sean aporte efectivo y en el corto plazo para la FICA-EPN.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Generalmente el levantamiento topográfico con un dron profesional tiene la misma calidad que aquellos realizados recopilando medidas de alta precisión a través de levantamientos topográficos hechos con estación total, aunque en una fracción del tiempo. Esto reduce considerablemente el costo de la topografía, el

tiempo de trabajo sobre el terreno y aumenta exponencialmente la cantidad de información recolectada. (WINGTRA, 2021)

Para obtener un mayor detalle topográfico del área de las fachadas del edificio es recomendable obtener fotografías capturadas de manera oblicua, es decir, la cámara del dron con un ángulo de inclinación. (Jarrín, 2020)

Hay que respetar la altura máxima de vuelo permitida por la dirección general de aviación civil bajo la resolución número 251/2015. (Aviación Civil EC, 2020), misma que indica como máxima altura 120 metros.

El levantamiento interno del edificio se hará utilizando la tecnología LIDAR para iPhone 13 PRO MAX que es una innovadora técnica que consta de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de las superficies con mediciones exactas en las 3 dimensiones; de donde se obtiene una nube de puntos los cuales se pueden analizar y visualizar utilizando paquetes computacionales de altas prestaciones.

1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Para la realización de este trabajo es necesario llevar a cabo una investigación bibliográfica, levantamiento en campo y procesamiento de datos con software. Todos estos procesos son puntos claves para la formación profesional, ampliando de mejor manera el conocimiento adquirido en la instrucción universitaria.

El modelamiento 3D interno y externo del edificio en REVIT, se convertirá en insumo para futuros proyectos de remodelación, y será ejemplo para aplicación de estas tecnologías en el campus Rubén Orellana. Por lo que este estudio toma una gran importancia tanto para el aprendizaje personal del autor, como para la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

1.3 HIPÓTESIS

A través del levantamiento topográfico con el UAV y el levantamiento planimétrico con la tecnología LiDAR del Edificio 10 de la EPN, se modelará en 3D los espacios interiores y exteriores, para finalmente diagramar todo en REVIT.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar los levantamiento topográfico y planimétrico del Edificio 10 de la EPN para su posterior modelación.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una investigación bibliográfica.
- Diagramar los planos topográficos de los predios del edificio 10 de la EPN.
- Realizar el procesamiento de datos topográficos de la zona con software en computador de altas prestaciones.
- Obtener los planos de cada planta a detalle de los interiores y espacios utilizados actualmente por el edificio número 10 de la EPN.
- Desarrollar una investigación bibliográfica la tecnología LIDAR actualmente en el Ecuador.
- Modelar el edificio a detalle en 3D en REVIT.
- Concluir y recomendar, bajo los parámetros del análisis 3D, las limitaciones y alcance que el estado actual del edificio número 10 que puede ofrecer para su mejora.

CÁPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 EXACTITUD Y PRECISIÓN

En ensayos o dentro de cualquier trabajo científico es lógico que se comentan errores para lo cual es imprescindible conocer la definición y diferencia de exactitud y precisión. (Alonso, 2006). Si bien la exactitud y la precisión son dos formas de medir los resultados, estas no son iguales, por un lado, la exactitud se refiere a qué tan cerca se encuentra un valor arbitrario al valor real, mientras tanto la precisión se refiere a qué tan cerca se encuentra un resultado de los otros resultados. Para este proyecto es importante tomar en cuenta esta definición ya que son conceptos imprescindibles dentro de la metrología, ciencias e ingeniería. (Fernandes,2017)

Aportando a la definición en el anterior párrafo, la exactitud mide tan cerca se encuentra el resultado medido de un valor real o auténtico, por lo que se determina tomando una sola medida, mientras que la precisión no tiene un valor de referencia y toma en cuenta la repetibilidad de los valores obtenidos o la dispersión de estos. (Ruiz, 2022)

En la exactitud la determinación del error será menor cuando este encuentra más cerca la medición del valor real, y se puede decir que es más exacta, en la precisión se determina el menor error cuando los diferentes resultados se encuentren más cerca entre sí, de todas maneras, en la *Figura 1*, se puede apreciar esta diferencia con mucha más claridad. (Fernandes,2017)

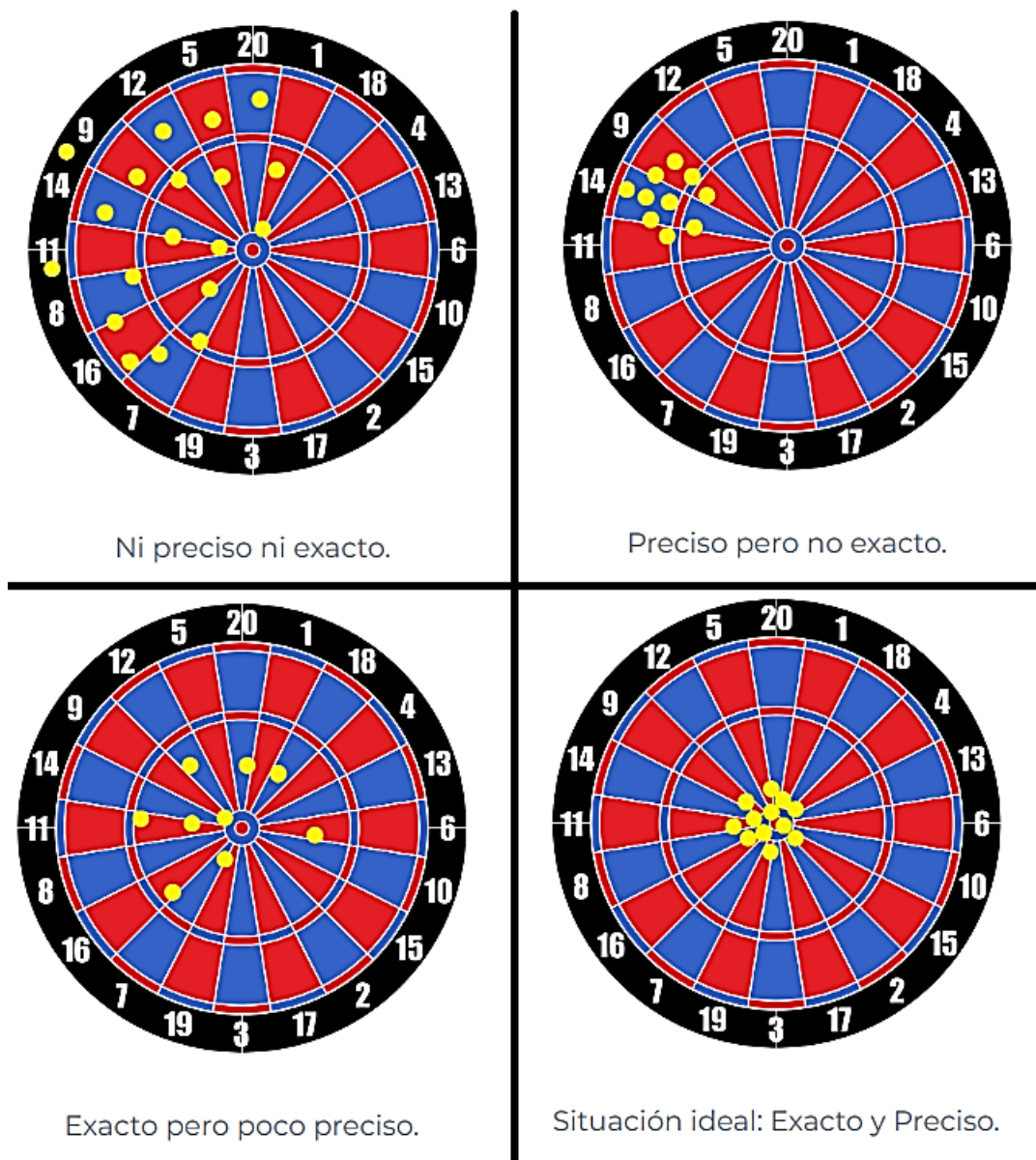


Figura 1. Diferencia entre precisión y exactitud

Fuente: (Ruiz, 2022)

2.1.2 FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría Estudia y define con precisión la dimensión, forma y la posición de un objeto en el espacio utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías. (Quirós, 2014). En otras palabras, con es la técnica se puede obtener mediciones en las fotografías para generar planos con una exactitud muy buena.

Comúnmente la fotogrametría se divide en estos 2 tipos:

- Fotogrametría terrestre.
- Fotogrametría aérea.

2.1.2.1 Fotogrametría terrestre

La fotogrametría terrestre es la que se la realiza desde la superficie, y se las toma horizontal y vertical al terreno, donde se realizan mediciones para aplicar en estudios arqueológicos o arquitectónicos (Costales, 2018)

2.1.2.2 Fotogrametría aérea

Este tipo de fotogrametría es la rama más extendida, pues las fotografías se capturan bajo condiciones de geometría, donde comúnmente se las obtienen desde plataformas especiales como los RPAS, para realizar levantamientos de aéreos extensos con exactitud en un tiempo eficiente.

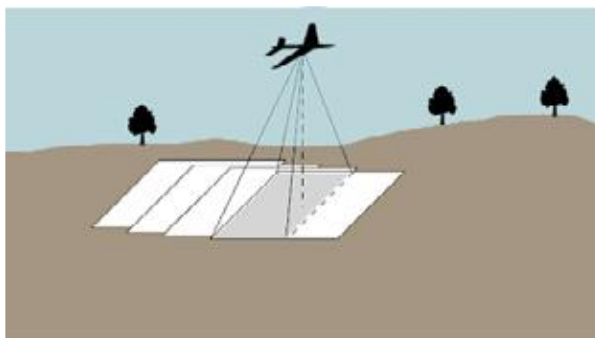


Figura 2. Fotogrametría Aérea

Fuente: (Quirós, 2014)

Este tipo de fotogrametría efectúa mediciones que se basan en imágenes tomadas por el RPAS para obtener con buena precisión la forma y dimensiones de la superficie del terreno. Las fotografías tomadas con el UAV o más apropiadamente RPAS, siglas en ingles correspondientes a (Remotely Piloted Aircraft System) tienen perspectiva, ángulos y puntos, por lo que es necesario por lo menos dos fotografías para generar la superficie como modelo digital. (Hernández, 2016).

El desarrollo de nuevas tecnologías en la ingeniería, específicamente en la topografía se nota en el incremento del uso de RPAS, para obtener toda la

información topográfica a través del procesamiento de datos de las fotografías georreferenciadas en terrenos con accesos difíciles, dando como resultado algunas ventajas, entre ellas el menor costo de operación.

Anteriormente la fotogrametría aérea se realizaba desde vuelos tripulados o desde uno o varios satélites. Es en los últimos años cuando se ha dado paso también a los vuelos no tripulados, suponiendo una gran ventaja tanto para las empresas como para los clientes. (Carretero, 2015)

2.1.3 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO

El acrónimo UAV, son siglas en inglés “Unmanned Aerial Vehicle”, mismas que en español significa “Vehículo Aéreo No Tripulado”, es una aeronave robótica con motor que es controlada de forma remota por un operador en tierra. (Cuerno, 2015). Su desarrollo comenzó alrededor del siglo XIX para uso militar.

La Segunda Guerra Mundial fue el principal estimulante para desarrollar los UAV's en Estados Unidos y Europa, con el objetivo de reemplazar a personas en misiones que pongan en peligro su integridad física. Hoy en día, gracias al avance de esta tecnología tienen una gran cantidad de usos civiles.



Figura 3. Modelo de blanco aéreo Queen Bee desarrollado por Gran Bretaña.

Fuente: (Carretero, 2015)

Es importante recalcar que actualmente el desarrollo de la tecnología de los UAVS permite que los vehículos no tripulados cuenten con sistemas de posicionamiento, radares, aspersores, sensores LiDAR y a cargas útiles no letales, misma que hacen referencia a cámaras de alta o baja resolución. (Santana, 2007)

2.1.3.1 Marco legal

En el Ecuador la Dirección General de Aviación Civil mediante la Resolución Nro. DGACDGAC-2020-0110-R, de fecha 4 de noviembre del 2020 - Reglamento para la "Operación de Aeronaves Pilotada a Distancia (RPAs)"(Anexo 1), e instauró condiciones para la operación y vuelo de drones en el territorio ecuatoriano. (DGAC. 2020)

Se estableció las siguientes disposiciones:

- Distancia para realizar operaciones con UAV: igual o mayor a 9km de las proximidades de aeródromos o base aérea militar.
- Altura máxima de vuelo: no debe exceder los 122 m sobre el terreno.
- Horas de operación: comprendidas entre la salida y puesta del sol, en condiciones meteorológicas que faciliten la visibilidad permanente del dispositivo.
- Vuelo automático: será utilizado únicamente si el operador puede intervenir en cualquier momento del vuelo, tomando control inmediato del dispositivo.
- El operador del UAV: será responsable de la operación general durante todo el vuelo. Este deberá estar libre de cualquier sustancia o trastorno que pudiere afectar sus facultades para operar los controles de manera segura.
- El operador se asegurará que el UAV sea operado de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante.
- El operador del UAV debe cumplir con las disposiciones mencionadas, además de los reglamentos y leyes locales aplicables.
- En caso de ocasionar daños a terceros, el operador estará en la obligación de responder a los mismos. Para ello debe contratar la póliza de seguros de responsabilidad civil legal a terceros.

Este reglamento es aplicado en operaciones donde las aeronaves son pilotadas a distancia en actividades civiles, donde su peso máximo al despegar este entre 0,25 kg y 150 kg.

2.1.3.2 Tipos de UAV

Dependiendo el punto de vista, hay muchas maneras de clasificar a los UAVs, según (Claros, 2016) se plantea una clasificación que muestra los principales tipos de UAVs:

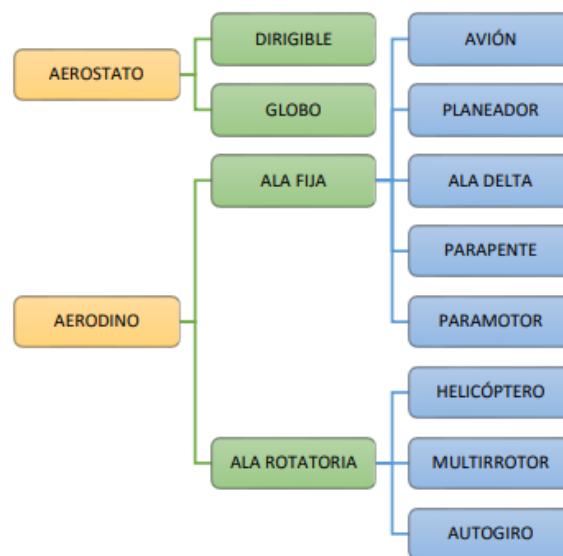


Figura 4. Principales tipos de UAVs

Fuente: (Claros, 2016)

El uso de cada tipo de UAV dependerá de la finalidad que se le vaya a dar, ya que las características y capacidades de cada uno son diferentes, los más utilizados actualmente son los UAVs de ala rotativa debido a que su precio es relativamente bajo a comparación de lo que tienen ala fija, específicamente casi 5 veces menor, también a su facilidad de uso y eficiencia de mapeo. (DronDeploy, 2019a)



Figura 5. UAV de ala fija

Fuente: (SenseFly, 2018)



Figura 6. UAV de ala rotativa

Fuente: (DJI, 2022)

2.1.3.3 Componentes físicos de los UAVs

Los componentes físicos que constituyen a los UAVs son los que se indican en la siguiente figura:

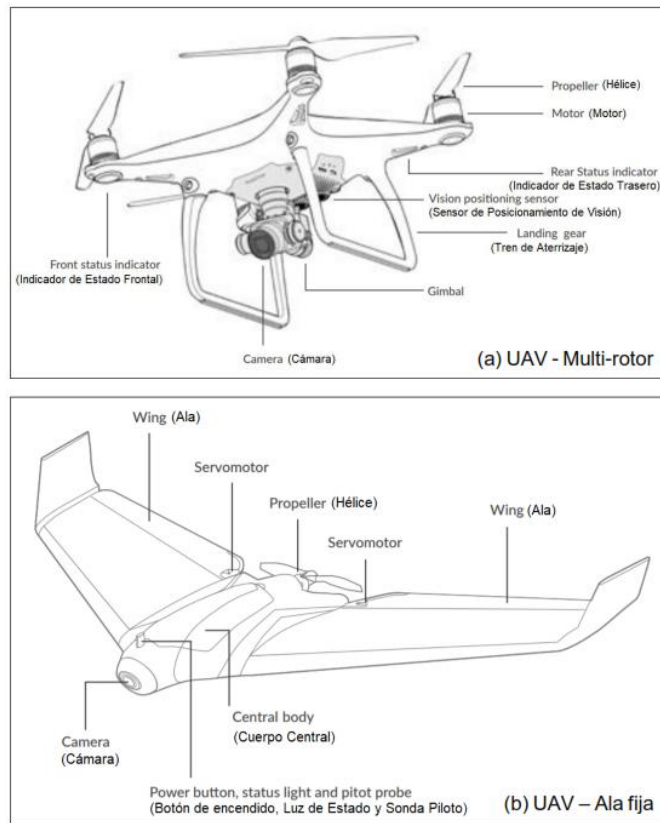


Figura 7. Componentes físicos del UAV

Fuente: (DronDeploy, 2019a)

Cada componente físico se detalla su funcionamiento en la siguiente tabla:

TABLA1

COMPONENTES FÍSICOS DEL UAV

FUNCIONES DE LOS COMPONENTES FISICOS DE UAV	
MULTI-ROTOR	ALA FIJA
Cámara: Se utiliza para capturar video, fotos de alta resolución y datos de imágenes fijas del terreno para generar mapas y modelos 3D.	
Hélice: El rotor utiliza la hélice para generar empuje mientras está en vuelo	
Motor: El motor alimenta las hélices para generar una elevación aérea del dron durante el vuelo.	Servo Motor: Garantiza un control preciso de las alas durante el vuelo.
Gimbal: Estabiliza la cámara y la mantiene nivelada durante el vuelo.	Cuerpo Central: Alberga la electrónica principal del dron, incluido el hardware de comunicación y las baterías.
Tren de Aterrizaje: El tren de aterrizaje amplía la posición del dron para aumentar la estabilidad durante los después aterrizajes.	Alas: Las alas del UAV producen elevación durante el vuelo. A menudo son desmontables para transporte, almacenamiento y reemplazo.
LED de Dirección: Estos LED permiten al usuario comprender la orientación del dron en condiciones de poca luz.	Luz de Estado (LED): Es un LED de color que muestra el estado actual del dron.
Sensor de Posicionamiento de Visión: Rastrea la posición y altitud del dron sobre el suelo.	Sonda Piloto: Es un sensor utilizado para detectar datos como la velocidad del aire, la velocidad del viento y la altitud del dron.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Fuente: (DroneDeploy, 2019a)

2.1.3.4 UAV Multirotor ATYGES RPAS FV8 TOPODRON

En la figura 8, se muestra el modelo multirotor ATYGES RPAS FV8 TOPODRON, el cuál será utilizado para este proyecto; cabe mencionar que es un dron profesional y muy eficiente para estudios de ingeniería. En la tabla 2 se detalla las características que hacen de este equipo netamente de uso profesional.



Figura 8. Multirotor ATYGES RPAS FV8 TOPODRON

Elaboración: (Cervantes, 2022)

TABLA2

CARACTERÍSTICAS DEL MULTIROTOR ATYGES RPAS FV8 TOPODRON

<p>Potente herramienta de control de vuelos automáticos:</p>	<p>Fácil programación de los itinerarios y planes de vuelo sin necesidad de PC, tabletas ni herramientas auxiliares en campo.</p>
<p>Vuelo automático por coordenadas</p>	<p>Planificación y ejecución de hasta 20,000 waypoints en el campo sin necesidad de emplear PC's o tablet's. Almacenamiento de los levantamientos en</p>

	la memoria, realizar fácilmente seguimientos y vuelos repitiendo las condiciones
Vuelo automático por coordenadas relativas	Un único plan de vuelo para levantar 1500 Ha o realizar fotografías esféricas en cualquier sitio y de manera automática. Operaciones simples y seguras para garantizar el éxito del trabajo.
Simulador de vuelo	Todos los vuelos, manuales y automáticos, pueden simularse con el mando real de manera que podemos ensayar y realizar simulaciones sin riesgos ni pérdidas de tiempo. Facilita enormemente el aprendizaje del manejo de la plataforma.
Máxima seguridad y sencillez de uso y posicionamiento de manera automática	Gracias a la antena GPS el autopiloto, Glonass y Beidú mantiene el dron en la misma posición, compensando de manera automática los agentes externos como el viento, por lo que se podrá operar el sensor instalado tomando imágenes o videos con suma facilidad y precisión.
Mantener la altura de manera automática	El UAV mantiene automáticamente el nivel de vuelo a la altura escogida sin necesidad de señal GPS lo que facilita la maniobrabilidad fuera de obstáculos y el vuelo indoor o sin señal satelital.
Despegue y aterrizaje automático	El equipo despega y aterriza de manera automática con solo accionar un interruptor. De esta manera se simplifica y asegura las operaciones de despegue y aterrizaje.

Telemetría y datos de vuelo sonoros	Los avisos se realizan visualmente en la estación de control y mediante mensajes hablados con el fin de proporcionar al piloto la información crítica de vuelo.
Modo de emergencia	Si el FV-8 pierde el contacto con el piloto, bien por la presencia de inhibidores de señal, bien por pérdida de cobertura o fallo en la señal de transmisión, la aeronave volverá automáticamente al punto de despegue o al punto de emergencia más cercano, pudiéndose planificar previamente, la ubicación de éstos.
Sistema plegable sin necesidad de herramientas	Los detalles en el diseño otorgan calidad en el producto final evitando errores o fallas en el sistema y garantizando el ajuste perfecto de toda la estructura. Calidad, durabilidad y fiabilidad unidas en el diseño de la estructura.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Fuente: (ATYGES, 2021)

2.1.3.5 Usos y aplicaciones de los UAVs en la ingeniería

Los UAVs en sus comienzos se los idealizaron netamente para trabajos y misiones militares, con el avance tecnológico de estos y su inserción dentro del uso civil permitió que se extienda su uso en varios campos de la ingeniería.

Según Gonzalo Pajares, en el documento científico “Resumen y estado actual de las aplicaciones de teledetección basadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV)”, menciona que hay una gran cantidad de aplicaciones de los UAV's en distintas ramas de la ingeniería, como, por ejemplo:

- Modelo en 3 dimensiones de estructuras, tales como edificios, tuberías de paso de hidroeléctricas, líneas de transmisión de energía.
- Revisión y monitoreo de construcciones civiles.
- Análisis de zonas de catástrofe sin poner en riesgo personas.

- Control fronterizo.
- Control de incendios e inspección de zonas quemadas.
- Ingeniería forestal.
- Ingeniería agroindustrial y manejo de cultivos.
- Monitorización de tráfico y rendimiento de carreteras.
- Estudios de gemología, entre otros.

Dentro del campo de la ingeniería civil, el uso de los UAV's más extendido, gracias a la versatilidad, facilidad de uso y toma de imágenes de alta calidad, es en el campo de la topografía, reemplazando a métodos tradicionales en la recopilación de datos. (Giordan, 2017)

Con los UAVs se puede recibir una cantidad enorme de datos geoespaciales, y fotografías en alta resolución temporal y espacial, por lo que resulta óptimo y eficiente su uso para reducir gastos y tiempo de operación.

2.1.4 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

En los levantamientos topográficos con UAVs es necesario e indispensable obtener resultados con la mayor precisión posible, para conseguir esta precisión se colocan puntos de control terrestre, los cuales sirven para georreferencia el lugar donde se vaya a realizar el levantamiento. Para obtener las coordenadas de estos puntos de control se utiliza la posición de los satélites con GNSS para obtener una precisión centimétrica en las 3 dimensiones. (López, 2014)



Figura 9. Punto de control desde la superficie

Elaboración: (Cervantes, 2022)

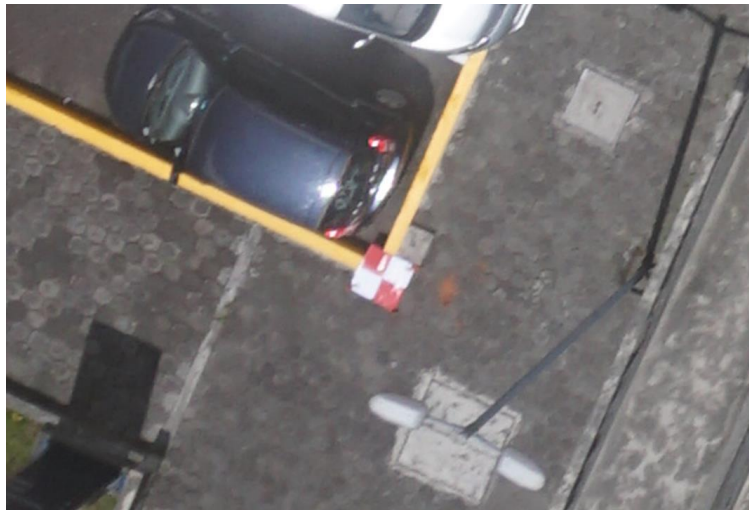


Figura 10. Punto de control desde el UAV

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El número mínimo de puntos de apoyo necesarios para la realización del proceso de restitución sería de 3 (teniendo en cuenta la posibilidad de que existiera algún error en alguno de estos puntos). Eso es necesario, para que en el proceso

de restitución las coordenadas planimétricas y altimétricas sean fiables, y así obtener un buen ajuste del modelo. (Claros, 2016)

2.1.5 PROGRAMAS PARA PROCESAMIENTO DE FOTOGRAMETRÍA CON UAV

En el mercado existe diferentes tipos de programas que procesan las fotografías tomadas con el UAV, para su posterior tratamiento y digitalización. El tiempo de procesamiento dependerá de la cantidad de información y de las capacidades del computador. Los programas más utilizados en el campo de la topografía para el procesamiento de fotogrametría son el Agisoft PhotoScan y el Pix4D. Para utilizar estos programas se necesita tener las licencias necesarias, aunque en ambos casos se cuenta con periodos de prueba. (Costales, 2018).

En este proyecto se va a utilizar el programa Agisoft PhotoScan, que se encuentra disponible y con licencia en el Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos en la Escuela Politécnica Nacional. Este programa está instalado en un servidor (Workstation) de altas prestaciones para el eficiente y ágil procesamiento de datos.

2.1.5.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft Photoscan es un programa creado por Agisoft LLC, fundada en 2006 como una empresa de investigación innovadora centrada en la tecnología de visión artificial. Este programa fue lanzado al mercado en 2010 para realizar el procesamiento de imágenes digitales y la generación de datos espaciales en tres dimensiones para su uso e implementación en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y permitir realizar mediciones indirectas de objetos de diferentes escalas. Este programa permite generar los siguientes resultados de procesamiento. (Agisoft, s.f)

- Clasificación de nube de puntos para lograr una reconstrucción geométrica de alta precisión.
- Modelos digitales de terreno y modelos digitales de superficie georreferenciados a partir de la información de las imágenes procesadas.

- Importación de las coordenadas de los GCP para lograr levantamientos de alta precisión.
- Exportación de orto mosaico en formatos compatibles con SIG.
- Medición de distancias, áreas y volúmenes gracias a herramientas integradas que permiten realizar análisis métrico de alta precisión y transferir estos datos a varios formatos de exportación compatibles con programas de diseño asistido por computadora.
- Procesamiento de imágenes multiespectrales y térmicas para generar índices de vegetación (NDVI).
- Generación de modelos 3D de edificaciones, interiores, personas, sitios arqueológicos, etc.

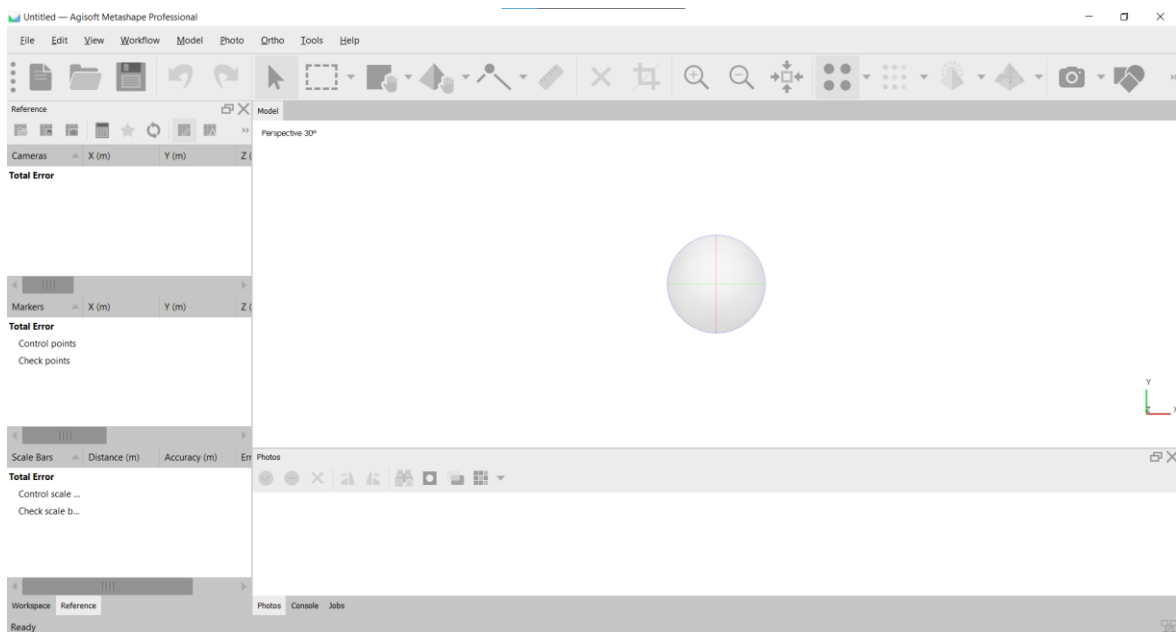


Figura 11. Interfaz de Agisoft PhotoScan

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la figura 11 se puede ver la interfaz del programa, que a la fecha es la última versión disponible, con un aspecto moderno y amigable. Es importante recalcar que, pasado los 30 días de prueba, la licencia perpetua tiene un costo de \$ 3 500 dólares.

2.1.5.2 Modelo digital de Terreno

El modelo digital de terreno con siglas MDT o en inglés DTM, se define como una superficie continua que se representa estadísticamente con puntos específicos que tienen coordenadas conocidas en x, y, z dentro de un sistema de coordenada. (Rahman, 1994)

El MDT muestra las características de una determinada superficie, derivada de una capa de elevaciones a la que se la llama Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

El orden más común para obtenerlo es el siguiente:

- Formar el modelo digital de terreno
- Se procesa el Modelo digital de elevaciones para crear las inclinaciones, orientaciones y curvatura del Modelo Digital de terreno.
- Se verifica en 2D o 3D el levantamiento de todas las capas para corregir posibles errores.
- Examinar los resultados de Modelo digital de terreno en base a sus datos morfológicos y estadísticos.

No hay un orden específico y muchas veces estos pasos se solapan en su análisis, manipulación y visualización donde es mucho más fácil determinar y corregir errores en el MDE. Por lo tanto, se debería regresar al primer paso y realizar nuevamente un MDR mejorado. (Sarría, 2006)

Es importante recalcar que el modelo digital de terreno es esencial para comenzar con el análisis de la superficie y sus elevaciones, puesto que se cuenta con una gran cantidad de información como lo son los píxeles obtenidos de la aerofotogrametría.

2.1.5.3 Modelo digital de elevación

El modelo digital de elevación con siglas MDE o en inglés DEM, se define según Burgos como un modelo digital que muestra la superficie de manera digital

distribuyendo espacialmente sus valores de altitud de cada píxel con respecto a puntos de referencia ubicados en el plano de dos dimensiones para poder con el programa de procesamiento de fotogrametría ver la superficie del terreno en 3 dimensiones presidiendo la morfología del terreno. (Burgos, 2014) A comparación del DMT, el DEM indican los valores de altitud, mientras tanto el DMT toma en cuenta variantes naturales y las que no lo son del terreno. (Brenes, 2016)

Un modelo digital de elevaciones se puede representar de forma genérica por la ecuación:

$$z = f(x, y)$$

Donde:

z = Coordenada de elevación.

x = Coordenada de abscisas.

y = Coordenadas de ordenadas.

Las coordenadas de la ecuación están en función del posicionamiento de las coordenadas en el plano de dos dimensiones, ya que define un campo de variación continua. Como esta ecuación es imposible de resolverse por sí misma, se necesita definir elementos discretos para todos los puntos del territorio, puesto que estos permiten simplificar la codificación de elevación. Los elementos que normalmente ayudan a esto son las curvas de nivel, la red irregular de triángulos y el formato ráster. (Sarría, 2006).

Existen diversos métodos para la construcción del DEM, y el que se utiliza actualmente como método indirecto en la aerofotogrametría es la restitución fotogramétrica, esto quiere decir que a partir de fotografías aéreas o digitales se realiza una paralaje que toma la distancia de un punto de la fotografía aérea como proporcional al objetivo respecto al fondo de ésta, como podemos ver en la figura 12.

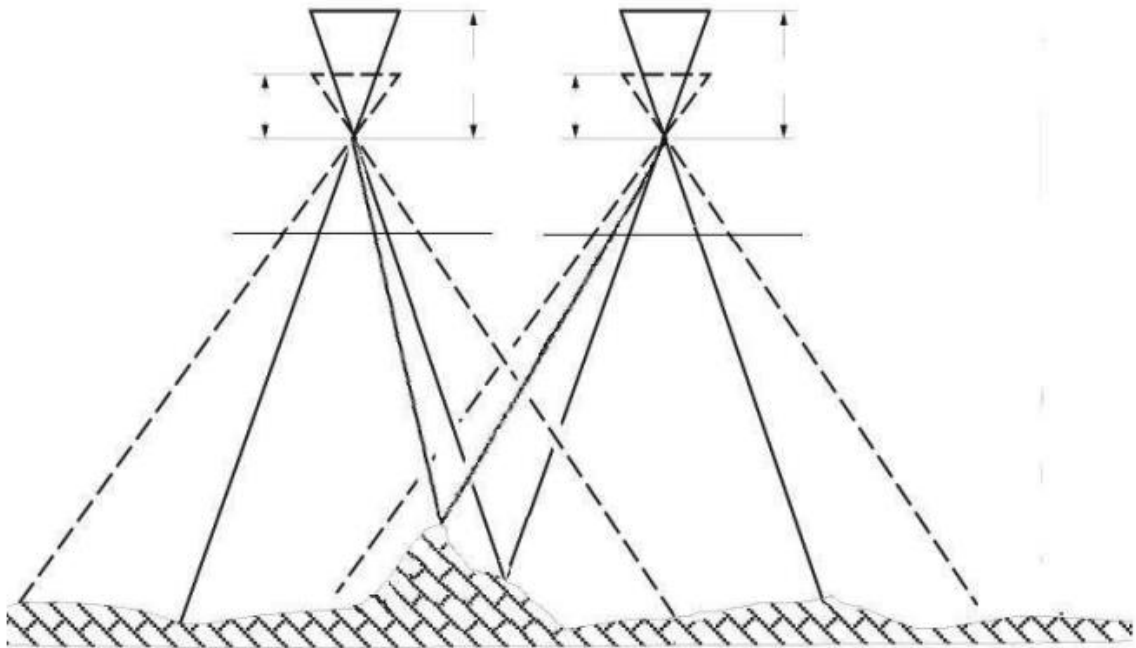


Figura 12. Utilización de la diferencia de paralaje en restitución fotogramétrica.

Fuente: (Sarría, 2006)

2.1.5.4 ORTOFOTO

Las ortofotos son fotos ortoproyectadas. La ortoproyección es método fotogramétrico que consiste en conseguir fotomapas exactos, con deformaciones corregidas que se producen en la imagen por la elevaciones y pendientes de la fotografía, mediante la corrección diferencial de la fotografía original, proceso para cual es necesario el modelo digital de elevación DEM. Para ello se hace necesaria la utilización del MDE. (Quirós, 2014).



Figura 13. Utilización de la diferencia de paralaje en restitución fotogramétrica.

Fuente: (Quirós, 2014)

En la figura 13 podemos ver la diferencia entre la foto original y finalmente la imagen ortoproyectada, en cambio en la aerofotogrametría se debe corregir las inclinaciones de los elementos elevados como por ejemplo edificios como se ve en la figura 13, mismos que aparentan estar inclinados a lo que se debe a la posición de la cámara con respecto a estos elementos. La ortofoto final se realiza sobre el modelo digital de terreno, de esta manera se toma en cuenta todas las alturas de los elementos, corrigiendo el error y teniendo resultados más correctos tal como se puede apreciar en la figura 15.



Figura 14. Fotografía sin corrección

Fuente: (Quirós, 2014)

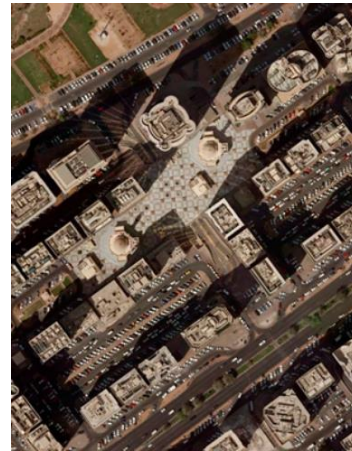


Figura 15. Ortofoto.

Fuente: (Quirós, 2014)

Para obtener la ortofoto, el conjunto de fotografías aéreas debe pasar por procedimientos de configuración de orientación, realizar el modelo digital de elevación y orto rectificación como se vio en las figuras anteriores. Esto debido a la diferencia de alturas de la superficie fotografiada, la inclinación de la cámara y la curvatura del terreno. (Gutiérrez, 2014).

2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 LIDAR

Dentro del campo de la ingeniería civil, específicamente en área de la topografía el uso de UAVs en levantamientos topográficos está en aumento a nivel mundial y en Ecuador, debido a sus ventajas y beneficios tales como reducción en el tiempo de levantamiento y costos de operación. Sin embargo, es importante

recalcar que existe la tecnología LiDAR que es mucho más exacta que se adapta a los UAVs para resultados muchos más precisos. (Vera, 2022).



Figura 16. Sensor LiDAR adaptable a UAV.

Fuente: (Quirós, 2014)

El Sensor LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) como podemos apreciar en la figura 16, es un sensor de medición y detección de objetos a través de láser. El sistema LiDAR consiste en un sensor activo que se basa en la emisión de un haz de luz, dentro de distintas bandas del espectro electromagnético, mismo que registra superficies sobre las cuales repercute, para obtener una nube de puntos georreferenciados y modelos digitales de alta resolución. (Fernández, 2016)



Figura 17. Sensor Lidar en un DJI M300

Fuente: (YellowScan, 2021)

La tecnología LiDAR ha sido implementada en dispositivos móviles, como lo son el iPhone y el iPad en sus versiones Pro, con un rango de longitud a escanear de 5 metros, estos dispositivos cuentan con un sensor Sony ToF de 4,18 mm x 4,30 mm (18,0 mm²) con resolución de 0,03 MP y píxeles de paso de 10 μ m dentro del sistema LiDAR. En la figura 16 se puede ver la ubicación en un iPhone 13 PRO MAX. (Lauter, 2021). Es importante recalcar que el sensor de estos dispositivos no es exacto y profesional, puesto que se los diseñó con el fin de mejorar la experiencia de realidad aumentada y no específicamente para levantamientos internos, sin embargo, en el presente proyecto se utilizó esta tecnología para el levantamiento de los espacios internos y verificar su alcance y limitaciones.

El escaneo 3D y la captura de realidad son una parte cada vez mayor de muchos flujos de trabajo profesionales. Hasta hace poco, esto generalmente requería sensores costosos o técnicas de fotogrametría robustas y largos tiempos de procesamiento. Ahora, los sensores LiDAR en teléfonos de consumo como el iPhone y el iPad de Apple están revolucionando la captura de datos y los flujos de trabajo en 3D.

Algunas ventajas clave de LiDAR móvil:

- Fácil de usar: una aplicación móvil que requiere un entrenamiento mínimo.
- Bajo costo
- Portabilidad: conectado a un teléfono móvil significa que generalmente está en su bolsillo



Figura 18. Sensor Lidar en un iPhone 13 Pro-Max

Fuente: (Apple, 2021)

2.2.2 USO DE LIDAR EN EL ECUADOR

En el Ecuador el uso de la tecnología LiDAR está en aumento, sin embargo debido al alto costo de sensores profesionales, hay pocas empresas que ofrecen este servicio, no obstante gracias a esta tecnologías las empresas ecuatorianas como Visual Pro Media, AOC Ingeniería, Topescom, JZ Consulto Minera demuestran el ahorro en tiempo real de los resultados con alta cantidad de detalle en los escaneos, además permite obtener la superficie de alto nivel de penetración de la vegetación debido al LiDAR. (Armijos, 2022)

Actualmente las empresas ecuatorianas que utilizan esta tecnología ofrecen servicios como por ejemplo JZ Consultora Minera de fotogrametría y modelado 3D de minas para el metaverso y diseño de minado. Por otra parte, empresas como

Visual Pro-Media, AOC ingeniería, Topescom, entre otros, ofrecen servicios de levantamientos topográficos con LiDAR.

Se han realizado trabajos de importancia a nivel nacional con impacto internacional usando de esta tecnología, como por ejemplo en septiembre del 2022 se realizó un estudio donde se confirma que hubo navegantes entre Ecuador y México años antes de la conquista. A través del levantamiento topográfico con LiDAR donde se afirma por su forma, que se mantuvo contactos marítimos directos con Colima, en el norte del Pacífico de México, mucho antes de la conquista española.

En la investigación fue de suma importancia la tecnología LiDAR para analizar a profundidad toda la vegetación del río Jama y su morfología con la finalidad de estudiar la industria naval prehispánica. El objetivo es hallar recursos arqueológicos en este sitio de difícil acceso. Cabe destacar que el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural contó con el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos y hasta la fecha de esta investigación se tiene como resultado 232 yacimientos y 110 montículos artificiales antiguos. (Arroyo, 2022).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

2.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.3.1 ANTECEDENTES

El Edificio de Hidráulica fue construido en 1965, bajo la administración del rector Ing. Rubén Orellana Ricaurte, ante la necesidad formar ingenieros hidráulicos que necesitaba el país. Gracias a la asistencia técnica de la Universidad de Padua, Italia y el Instituto Franzius para fundaciones y Obras Hidráulicas de la Universidad Técnica de Hannover, Alemania, se realizó el estudio de necesidad, la adquisición de equipos y construcción del nuevo edificio. (Gómez, 1966).

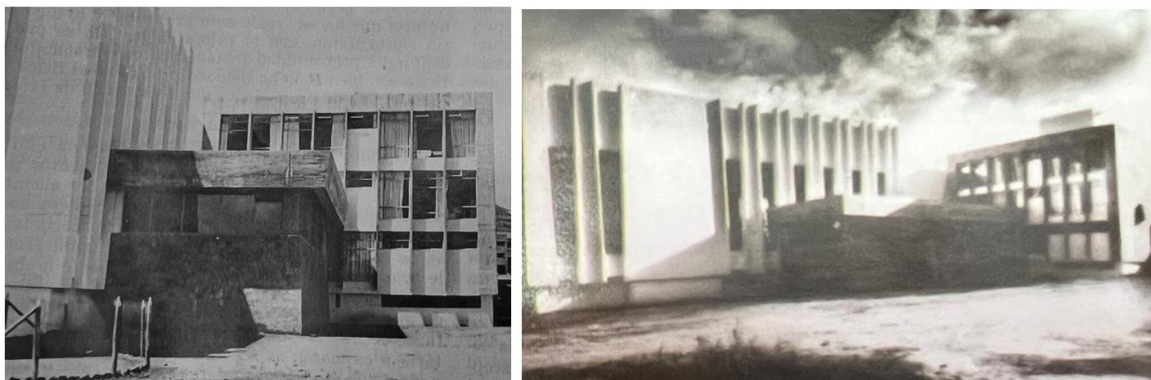


Figura 19. Ubicación de edificio 10 Hidráulica

Fuente: (Revista Historia de la EPN, Espinoza, 2012)

2.3.2 UBICACIÓN



Figura 20. Edificio 10 de Hidráulica actualmente

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El Edificio 10 de Hidráulica (Figura 20), está ubicado en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en la avenida Ladrón de Guevara dentro del campus Rubén Orellana Ricaurte de la Escuela Politécnica Nacional.

Las coordenadas exactas según el IGM están en la tabla 3:

TABLA3

COORDENADAS DE ESTUDIO

Coordenadas UTM - DATUM WGS84 Zona 17S			
ITEM	Descripción	Norte (m)	Este (m)
1	Quito, Ecuador IGM	9976219,572	776804,271
2	Edificio de Hidráulica	9976643,3	779295,4

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Fuente: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/visualizador/>



Figura 21. Ubicación de edificio 10 Hidráulica

Fuente: (Google Maps, 2022)

2.3.3 DESCRIPCIÓN ARQUITÉCTONICA

Este edificio se conforma de dos bloques, separados por una junta constructiva como se puede apreciar en la figura 22. El bloque en azul se utiliza para oficinas y el bloque en rojo para el antiguo laboratorio de investigaciones

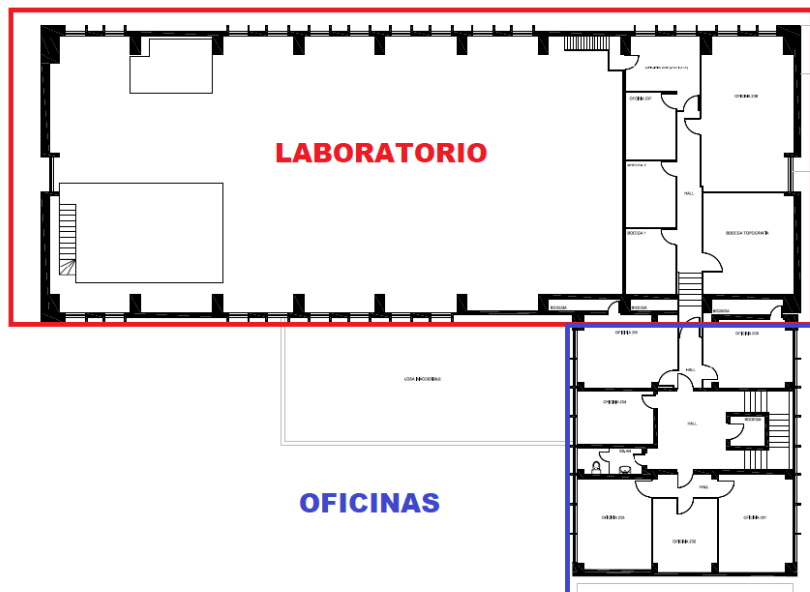


Figura 22. Vista en planta del Edificio de Hidráulica

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El Edificio 10 tiene 3 pisos y un subsuelo, con grandes ventanales y antepechos. La descripción del uso de cada piso se muestra en la siguiente tabla:

TABLA4*USO DE ESPACIOS DEL EDIFICIO 10*

	Nivel	Descripción	Uso
BLOQUE DE OFICINAS	-3,01	SUEBSUELO	Bodegas de materiales y radioactivos del CIERHI
	0,00	PLANTA BAJA	Oficinas de docentes, bodega e ingreso al laboratorio
	2,95	PRIMER PISO	Oficinas de docentes y bodega
	5,91	SEGUNDO PISO	Oficinas de docentes y bodega
	8,86	TERRAZA	Terraza inaccesible
BLOQUE DE LABORATORIO	-3,01	SUEBSUELO	Laboratorio hidráulica canal hidráulico.
	0,00	PLANTA BAJA	Laboratorio de investigaciones hidráulicas (Deshabilitado)
	4,22	PRIMER PISO	Oficinas de docentes con losa de madera
	7,82	TERRAZA 1	Terraza 1 inaccesible lado sur
	10,41	TERRAZA 2	Terraza 2 inaccesible lado norte

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la siguiente tabla se puede apreciar las actuales vistas que tiene el Edificio 10:

TABLA5*VISTAS DEL EDIFICIO 10*

VISTA FRONTAL	VISTA TRASERA
	
VISTA LATERAL	VISTA LATERAL
	

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.3.4 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

El sistema estructural se divide en: pórticos con vigas banda en el edificio de oficinas y vigas acarteladas en el edificio del laboratorio debido a la distancia entre columnas de 15 metros como se ve en la figura 21, columnas de hormigón armado desde 45 cm hasta 65 cm. La losa es maciza de 30 cm de espesor en las 3 terrazas. No se pudo obtener información estructural de la cimentación debido a la antigüedad del Edificio, sin embargo, en caso de que hubiese sido necesario obligatoriamente se debería realizar un proceso destructivo, con excavaciones hasta el nivel de cimentación y verificar.

La mampostería de las paredes tiene un espesor de 20 cm y se supone por la fecha en la que fue construida, que son hechas con bloques artesanales de la época de aproximadamente 20 x 20 x 40 cm.



Figura 23. Vigas acarteladas del Edificio de Hidráulica

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.4 EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos y materiales utilizados para el trabajo de campo y gabinete en este proyecto son los siguientes:

- | Equipos | Materiales |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • UAV ATYGES Multirotor fv8 Topodron PPK, • Cámara de fotografía SONY α6000, • GNSS integrado marca Trimble R8s, • Controlador de mando Trimble TSC7, • iPhone 13 Pro-Max, • Computador de altas prestaciones WORK STATION (CIERHI). | <ul style="list-style-type: none"> • 1/16 de Pintura sintética color rojo, • 1 brocha, • Clavos de 1" de acero, • Martillo, • Lonas de 60 cm x 60 cm de guía de GCP, • Cinta métrica, |

2.4.1 UAV ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK

Este UAV de altas prestaciones pertenece al LEMSUR (Laboratorio de Ensayo de materiales, Mecánica de suelos y Rocas) de la Facultad de Ingeniería Civil de la EPN. Esta aeronave está construida con materiales de alta calidad: aluminio aeronáutico, titanio y fibra de carbono. Posee una excelente y amplia capacidad de carga para soportar distintos sensores, es importante recalcar que su traslado en campo es básicamente sencillo gracias a su estuche macizo con ruedas en las 4 esquinas por lo que lo convierte en equipo fácilmente plegable y transportable sin necesidad de herramientas externas.



Figura 24. Estuche rígido y el ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Todas estas características ya mencionadas anteriormente, se las suma muchas otras que se detallan en la siguiente tabla, como lo describe la empresa COTECMI:

TABLA6*CARACTERÍSTICAS DEL ATYGES MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK*

Dimensiones totales	0,75 metros de alto x 0,75 metros de ancho
Capacidad de Carga	3,5 kilogramos
Peso en operación	4 kilogramos
Montaje del equipo	5 min aproximadamente.
Despegue y Aterrizaje	Vertical y automático
Autonomía de Vuelo	En condiciones normales 35 minutos
Velocidad Crucero	45 a 95 Km/h
Altura Máxima de Vuelo	250 metros
Altura Máxima de Funcionamiento	4500 metros sobre el nivel del mar
Rendimiento de cada batería	50 hectáreas
Motores eléctricos	4
Compatibilidad de sensores	Sensores termales, de video en HD y multiespectral
Navegación	GPS y GLONASS

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Fuente: (COTECMI, 2022)

2.4.2 CÁMARA SONY α6000

El departamento LEMSUR de la facultad de ingeniería civil de la EPN dispone la cámara marca SONY α6000 que tiene una montura tipo E y un sensor APS-C, misma que se utiliza para la toma de fotografías en el UAV. Es importante mencionar que esta cámara combina un potente enfoque automático con la detección de fases y correctos contrastes, Sony menciona a esta tecnología como 4d FOCUS puesto que permite un rendimiento de enfoque de calidad en las 4 dimensiones que son las siguientes: amplia cobertura de enfoque automático (alto

y ancho en 2D), rápida velocidad de enfoque automático (profundidad 3D) y mejor seguimiento predictivo (tiempo 4D). En 0,06 segundos se asegura una captura perfecta gracias al enfoque automático ultrarrápido. (Sony, 2022)



Figura 25. CÁMARA SONY α6000

Fuente: (Sony, 2022)

Las características básicas y especificaciones se detallan en la siguiente tabla:

TABLA7

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA CÁMARA SONY A6000

LENTE	MONTURA Y COMPATIBILIDAD CON LENTES DE LENTE	
	Lentes con montura E de Sony	
SENSOR	NÚMERO DE PÍXELES (TOTAL)	SISTEMA ANTIPOLVO
	Aprox. 24,7 megapíxeles SENSOR APS-C	Esta tiene un revestimiento para la protección de la carga en el filtro óptico y mecanismo de vibración ultrasónica
Grabación (imágenes fijas)	MODOS DE CALIDAD DE IMAGEN	
	JPEG estándar, JPEG fino, RAW, RAW y JPEG	
	TAMAÑO DE IMAGEN (PÍXELES), 3:2	
	G: 6000 x 4000 (24M), M: 4240 x 2832 (12M), P: 3008 x 2000 (6,0M)	
	TAMAÑO DE IMAGEN (PÍXELES), 16:9	
G: 6000 x 3376 (20 M), M: 4240 x 2400 (10M), P: 3008 x 1688 (5,1M)		

	TAM. DE IMAGEN (PÍX.), BARRIDO PAN.	FUNCIONES DE RANGO DINÁMICO
	Gran angular: horizontal 12.416 x 1.856 (23 M), vertical 5.536 x 2.160 (12 M), Estándar: horizontal 8192 x 1856 (15 M), vertical 3872 x 2160 (8,4 M)	Desactivado, Optimizador de rango dinámico (Auto/Nivel (1-5)); Alto rango dinámico automático: (diferencia de exposición automática; Diferencia de exposición nivel (1-6 EV, 1,0 EV paso))
Enfoque	TIPO DE ENFOQUE	MODO AF
	Enfoque automático híbrido rápido (enfoque automático con detección de fases/AF con detección de contraste)	AF-A (enfoque automático), AF-S (enfoque automático de disparo sencillo), AF-C (enfoque automático continuo), DMF (enfoque manual directo), enfoque manual
	SENSOR DE ENFOQUE	OTRAS FUNCIONES
	Sensor CMOS Exmor® APS HD	El control es predecible, Bloqueo de enfoque, Enfoque automático Eye-Start (solo con LA-EA2 o LA-EA4 (se vende por separado))
	PUNTO DE ENFOQUE	RANGO DEL ILUMINADOR AF
	179 puntos / 25 puntos (de enfoque automático con tecnología de detección de contraste)	Aprox. 0,3 - aprox. 3 m (con lente E PZ 16-50 mm F3,5-5,6 OSS incluida)
	RANGO DE SENSIBILIDAD DE ENFOQUE	
	EV0 a EV20 (equivalente a ISO 100 con una lente F2,8 conectada)	
Exposición	SENSIBILIDAD ISO (ÍNDICE DE EXPOSICIÓN RECOMENDADO)	
	ISO 100–25600	
ZOOM	ZOOM INTELIGENTE (IMAGEN FIJA)	
	M: aprox. 1,4x, P: aprox. 2x	
	ZOOM DIGITAL (IMAGEN FIJA)	
	G: aprox. 4x; M: aprox. 5,7x; P: aprox. 8x	
	ZOOM DIGITAL (VIDEO)	
	Aprox. 4x	
	VELOCIDAD DE OBTURACIÓN	

VELOCIDAD DE OBTURACIÓN		
	Fotografías: de 1/4000 a 30 segundos, Bombilla; Videos: de 1/4000 a 1/4 (en pasos de 1/3) hasta 1/60 en modo automático (hasta 1/30 en modo de obturador lento automático)	
Unidad	VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN CONTINUA (MÁX. APROX.)	
	11 fps (en disparo continuo)	
Audio	MICRÓFONO	PARLANTE
	Micrófono estéreo incorporado	Integrado, monoaural
Potencia	DUR. DE LA BATERÍA (CIPA, VIDEOS)	CARGA DE LA BATERÍA INTERNA
	Grabación real: aprox. 60 min (visor) / aprox. 60 min, Grabación continua: aprox. 90 min (visor) / aprox. 90 min (monitor LCD)	Sí
	ALIMENTACIÓN EXTERNA	
	Adaptador de CA AC-PW20 (se vende por separado)	
	BATERÍA INCLUIDA	DURACIÓN DE LA BATERÍA (CIPA, FOTOGRAFÍA)
	Batería recargable serie W NP-FW50	Hasta 360 capturas
Tamaño y peso	PESO (CON BATERÍA Y TARJETA DE MEMORIA)	DIMENSIONES (AN. X AL. X PR.)
	285 g (solo el cuerpo) / 344 g (con batería y multimedia)	120 x 66,9 x 45,1 mm

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Fuente: (SONY, 2022)

Las características de esta cámara permiten tener imágenes de alta calidad en nitidez y nivel de detalle con 24 megapíxeles efectivos como se demuestra en la siguiente figura 26, fotografía tomada con el UAV en este proyecto:

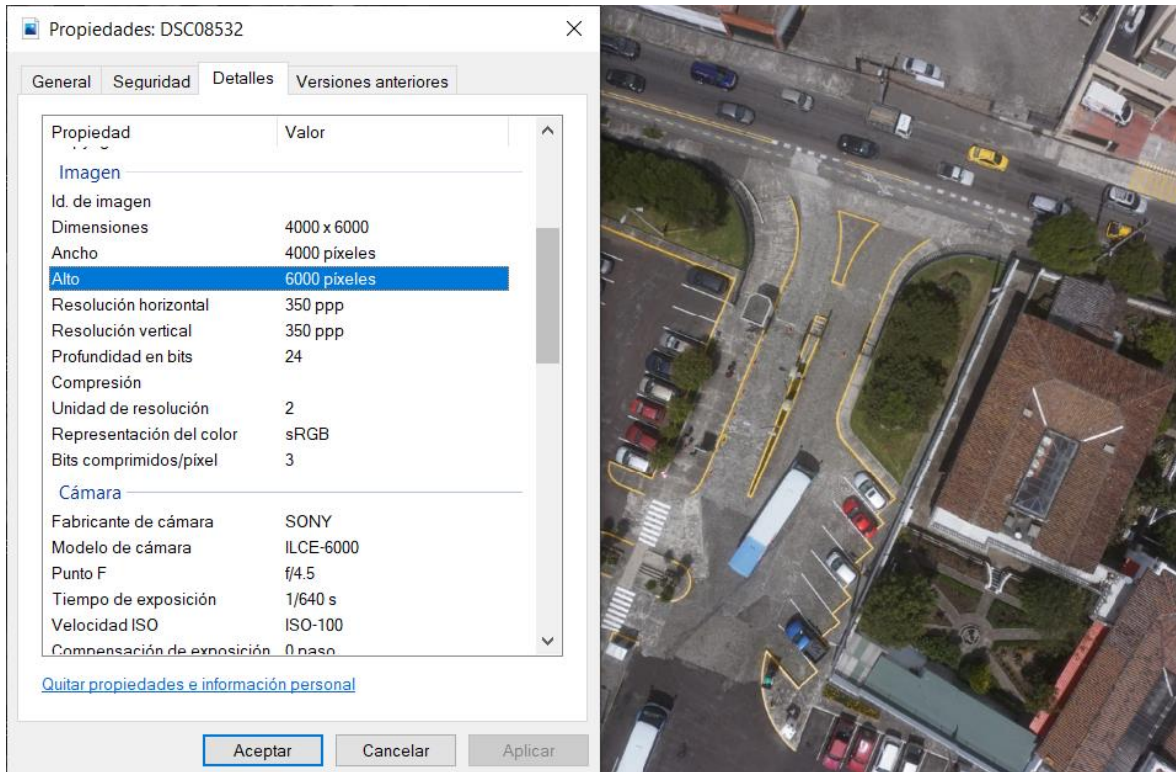


Figura 26. Propiedades de fotografía con la cámara SONY α6000

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.4.3 SISTEMA CON RECEPTOR INTEGRADO GNSS TRIMBLE R8S

El SISTEMA con RECEPTOR INTEGRADO GNSS TRIMBLE R8s, es un receptor GNSS que puede rastrear las señales de GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou. Este sistema también está diseñado para obtener señales modernizadas, por lo que se convierte en un receptor GNSS apto para tomar medidas en todo tipo de situación. Todo esto está soportado en 440 canales, los cuales distribuyen convenientemente las señales al receptor para así obtener un posicionamiento exacto dentro de cualquier tipo de situación. (Geocom, 2022)

En este proyecto se utilizó el posicionamiento en tiempo real mediante el protocolo NTRIP, para la obtención de los puntos GPS ubicados dentro del área de interés.



Figura 27. Sistema con receptor integrado GNSS TRIMBLE R8s

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.5 TRABAJO DE CAMPO

2.5.1 GENERACIÓN DE PUNTOS GPS

Para la generación de los puntos GPS, con el apoyo del LEMSUR, departamento encargado de los equipos para realizar los levantamientos topográficos, se utilizó el Controlador Trimble TSC7, la dirección IP que se empleó para el contacto GNSS la fue regme-ip.igm.gob.ec y el puerto IP 2101. Se trabajó con el sistema de coordenadas World wide/UTM zona 17 south WGS 1984 tipo cuadrícula con un modelo geoidal EGM96

Se creó un nuevo proyecto llamado “Tesis Cervantes”, donde se subdividió en dos carpetas, puntos con geoides y otra llamada puntos sin geoides, esto se realizó así para una investigación interna de comparación de resultados del LEMSUR aprovechando la realización de este proyecto. Se trabajó con la carpeta de puntos con geoides, se inició el levantamiento con las funciones GNSS en tipo NTRIP-IGM.

El NTRIP es el acrónimo de Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol, esto quiere decir que transporta en red los datos en formato RTCM vía protocolo de Internet. O, en palabras más simples, es el nombre para la transmisión de datos de navegación satelital a través de Internet. El posicionamiento NTRIP consigue mediciones con precisión centimétrica hasta 20 kilómetros de distancia de la estación base, Por lo tanto, para levantamientos en ciudades es recomendable el uso de NTRIP, ya que las interferencias no afectarán el posicionamiento y se podrá trabajar a kilómetros de distancia de la base sin mayor inconveniente. (SCSEquipos, 2022)

Esto quiere decir que el sistema se conecta con la antena fija del Instituto Geográfico Militar, en el anexo II se encuentra la ficha técnica de esta antena. En la siguiente figura 28, se detalla las características del proceso NTRIP del IGM en su página WEB.

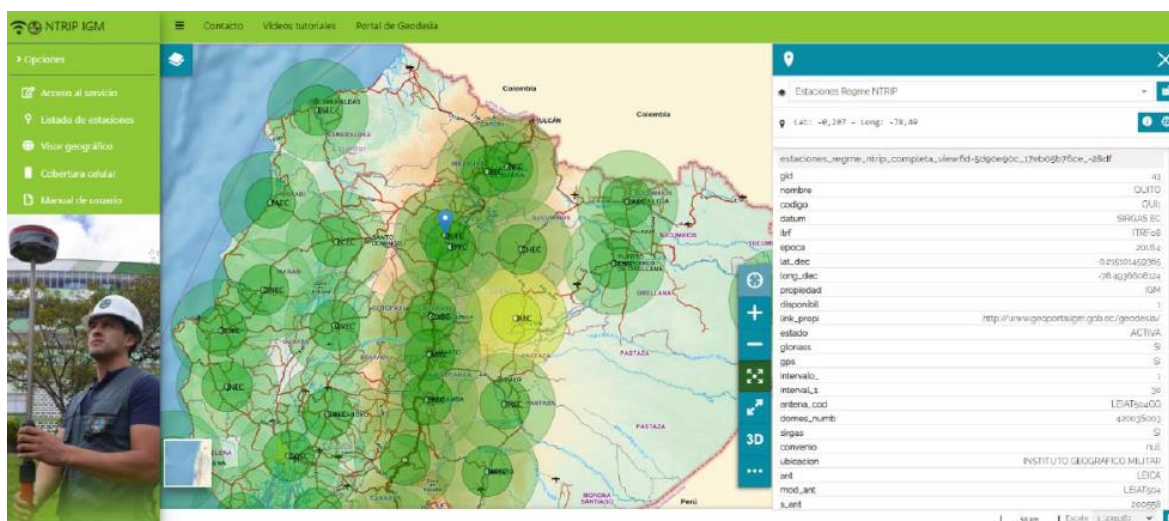


Figura 28. Estación QUII

Fuente: (NTRIP-IGM, 2022)

Mediante el protocolo NTRIP se detalla en la siguiente tabla los puntos que se obtuvieron:

TABLA8*LISTA DE PUNTOS BASE E IGM*

PUNTOS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	ERROR H (m)	ERROR V (m)
QUITO IGM	9976195,852	778986,302	2896,679	***	***
BASE EPN	9976581,596	779217,449	2809,331	0,007	0,012

Elaboración: (Cervantes, 2022)*Figura 29. Toma de punto de control IGM**Elaboración: (Cervantes, 2022)*



Figura 30. Ubicación de punto de control IGM

Fuente: (Google Earth, 2022)

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.5.2 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

Los puntos de control terrestre con siglas en inglés GCP (Ground Control Point), son puntos físicos o marcas específicas en la superficie, que son fundamentales para la orientación y precisión en el proceso de ajuste, se efectuará un tratamiento geométrico o georreferenciación para reducir el error al mínimo. Estas marcas deben ser colocadas estratégicamente sobre el terreno a levantar para conocer sus coordenadas e incluirlos en el proceso de ajuste de datos. Es importante recalcar que como mínimo se debe colocar 3 GCP en un terreno regular, normalmente los GCP varían de 4 a 10 puntos. (Duarte, 2018).

Por lo tanto, si el terreno es irregular el número de GCP será mayor para aumentar la precisión del modelo. Cabe mencionar que hay que analizar la posición más conveniente para la distribución de los GCP, puesto que el tener un modelo 2D y 3D más preciso dependerá mucho de esto. En resumen, no es más importante la cantidad de GCP, si no la correcta distribución de estos.

Los puntos de control terrestre fueron colocados dentro de menos de 2 hectáreas aproximadamente, área que contiene la zona de interés dentro de la EPN. Para evitar errores en el resultado de las elevaciones del Edificio 10 se colocó 6 puntos en total; donde 2 están en las terrazas de la estructura, y los 4 puntos restantes en los alrededores.

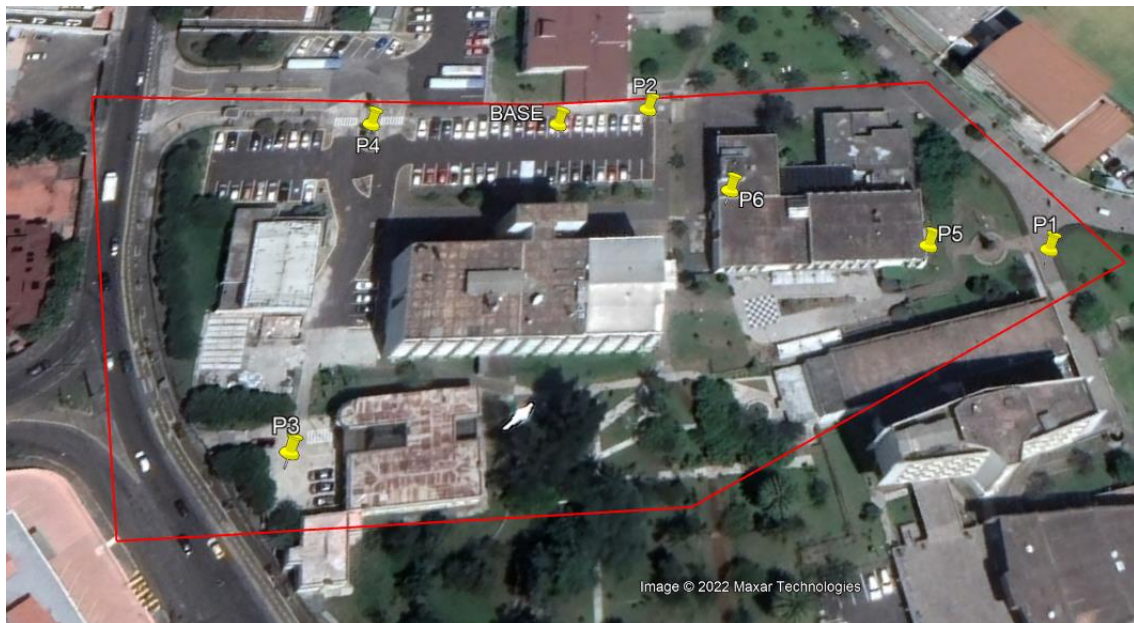


Figura 31. Ubicación referencial de los puntos de control terrestres.

Fuente: (Google Earth, 2022)

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En cada uno de los GCP, se clavó un clavo de acero de 1" y se los pinto con brocha en su alrededor de rojo para facilidad de localizarlo cuando se realice el vuelo con el UAV. Se colocó el sistema GNSS TRIMBLE R8s sin trípode puesto

que en este método NTRIP es necesario tomar los datos en menos de 10 segundos cada GCP dependiendo la calidad de señal que se tenga, en el equipo hay una burbuja tipo ojo de pez y se puede nivelar manualmente hasta tomar las coordenadas de cada uno y pasar al siguiente correspondientemente. Se colocó el equipo en medio del clavo para mayor exactitud, la evidencia fotográfica de la toma de los puntos de control terrestre en campo se lo puede ver en la figura 32 donde se muestra la toma de los 6 GCP.



Figura 32. Colocación en campo de los GCP

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Normalmente, para que los GCP sean visibles en las fotografías tomadas por el UAV se utiliza triángulos reflectores o pintura, con la finalidad de buscar la mayor precisión posible se diseñó e imprimió 8 lonas de 60 cm x 60 cm, mismas que se donaron al LEMSUR, estas sirven para que la fotografía aérea se pueda ajustar con mayor precisión el punto exacto donde se colocaron los clavos en los GCP, estas lonas se muestran en la figura 33.



Figura 33. Lona para representación de los GCP en las fotografías aéreas.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la siguiente tabla 9 se especifican las coordenadas UTM – DATUM WGS84 ZONA 17S de los puntos de control terrestre obtenidas en el campo:

TABLA9

COORDENADAS DE GCP

Coordenadas UTM – DATUM WGS84 ZONA 17S						
PUNTOS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	ERROR H (M)	ERROR V (M)	Código
QUITO IGM	9976195,852	778986,302	2896,679	***	***	QUITO IGM
BASE EPN	9976581,596	779217,449	2809,331	0,007	0,012	BASE EPN
1	9976642,283	779303,885	2806,088	0,011	0,020	P1
2	9976608,873	779229,005	2808,962	0,008	0,014	P2
3	9976509,761	779207,881	2808,402	0,007	0,010	P3
4	9976557,892	779180,932	2808,996	0,006	0,009	P4
5	9976613,041	779243,436	2817,265	0,005	0,009	P5
6	9976621,574	779291,050	2818,808	0,007	0,011	P6

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.5.3 PLAN DE VUELO

2.5.3.1 Altura de vuelo

Para obtener la altura óptima de vuelo es necesario tomar en cuenta algunos puntos:

- **Características del terreno:** La topografía del terreno es bastante regular con presencia de pequeños cambios de pendientes y de una vegetación escasa con presencia de césped y de pocos árboles. Este punto es importante en caso de haber zonas de quebrada o arboles muy altos que interfieran en la decisión de la altura óptima. El área por levantar es de 1,9 hectáreas aproximadamente.
- **Ubicación geográfica:** El edificio 10 se encuentra en el centro de la ciudad de Quito, por lo que no hay presencia de vientos considerables ya que se encuentra rodeado de otras infraestructuras. Las brizas de aire pueden impedir el vuelo óptimo. Con respecto al acceso de vías, la EPN dispone de múltiples ingresos siendo este un factor que no influye.
- **Obras de infraestructura:** La zona donde se va a llevar a cabo el levantamiento está rodeada por infraestructuras que se encuentran al lado de edificios de la Universidad Católica que tiene 5 pisos de altura y de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la EPN que tiene 6 pisos de altura. Por lo tanto, el dron debe volar mínimo 30 metros de altura, para evitar posibles choques.
- **Normativa para el vuelo:** Según la Sección 2.1.2.1 donde se detalla el Marco Legal del uso y vuelo de UAV's, señala como altura máxima de vuelo 120 metros.
- **Resultado del post-procesamiento de fotografías:** En este caso el departamento LEMSUR, después de llevar a cabo una gran cantidad de

levantamientos, y vuelos a diferentes alturas con el UAV Atyges FV8, se sugirió de 60 a 80 metros la altura óptima de vuelo, donde se obtienen resultados de modelamiento 3D óptimos.

Tomando en cuenta todos estos parámetros, y después de realizar pruebas en el campo a diferentes alturas como 50, 70 y 90 metros de alto, se decidió realizar el vuelo a 70 metros desde el punto de partida del despegue, valor considerado el más apropiado para un área pequeña 1,9 ha aproximadamente.

Es muy importante determinar la altura óptima de vuelo para generar una ortofoto de alta calidad.

2.5.3.2 Plan de vuelo con el programa Ground Control

"Ground Control" es un software compatible con el sistema operativo del Dron Multirroto FV8 Topo dron PPK, este software se lo puede ver en la figura 34.

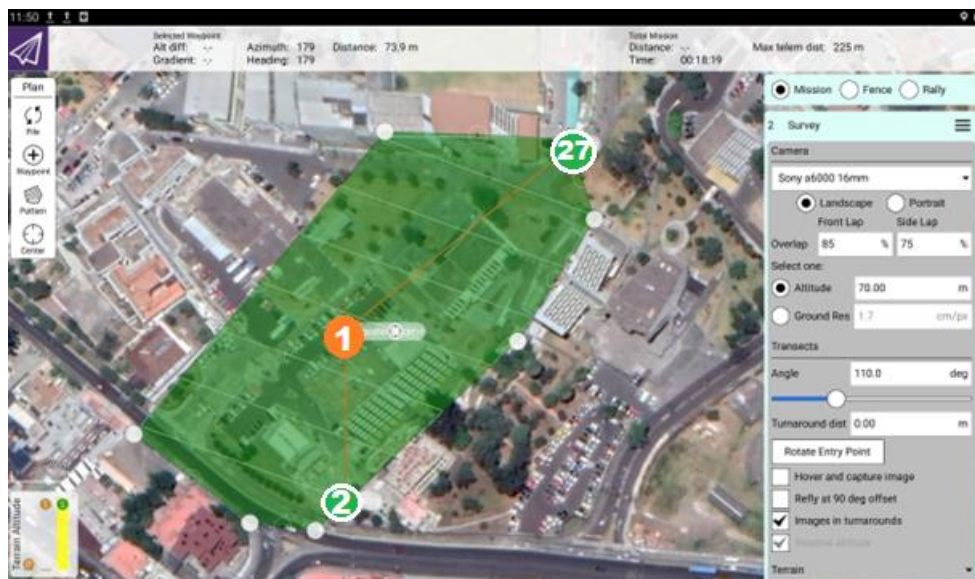


Figura 34. Plan de vuelo en Ground Control

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Este sistema tiene una vista de satélite, para poder fácilmente delimitar el área donde se va a realizar el levantamiento, ya marcada el área que fue de 1,89

hectáreas, se consideró un "Front Overlap" de 85% y "Side Overlap" de 75%, ángulo de 110, estos valores son recomendados para conseguir unas buenas fotografías aéreas. (Guerra ,2017).

Después de configurar estos parámetros, Ground Control automáticamente estableció el tiempo de vuelo, intervalos de captura, total de capturas y distancia de capturas. En la figura 34 el punto naranja con el número 1 muestra el punto de partida del UAV, el punto verde con número 2 muestra el punto donde comienza la toma de fotografías, y el punto verde con el número 27 muestra el final de la toma de fotografías.

2.5.4 VUELO DEL UAV ATYGES FV8

El vuelo se realizó el 31 de mayo del 2022 a las 11H00 en la zona de parqueaderos de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, ese día se tuvo condiciones meteorológicas, sin presencia de precipitaciones y con velocidades de viento normales. Cabe destacar que el montaje, vuelo y el desmontaje del dron estuvo 100% a cargo personal especializado del LEMSUR.



Figura 35. Despegue del UAV

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El vuelo se realizó sin ninguna novedad, siguiendo lo planeado con el plan de vuelo del software Ground Control, cabe destacar que es una gran ventaja de

este sistema que nos permitió en tiempo real verificar y visualizar el estado del vuelo, velocidad del UAV, su trayectoria y altura de vuelo.

2.5.5 LEVANTAMIENTO DE ESPACIOS INTERIORES

Para el levantamiento de espacios de interiores del edificio se lo realizó con toma de mediciones y triangulaciones con cinta métrica, con distanciómetro y con la tecnología del sensor LiDAR del iPhone 13 PRO MAX, se hizo pruebas con estas 3 maneras, se pudo concluir con una buena calibración y ajuste del escaneo de LiDAR con una distancia de referencia, este tipo de levantamiento proporciona resultados favorables.



Figura 36. Equipos para mediciones de levantamiento interno

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Se empezó el levantamiento con la toma de medidas de la altura de entrepiso de cada planta con un distanciómetro, del subsuelo- planta baja, planta baja-primer piso, primer piso-segundo piso, segundo piso-terrazza1, correspondiente al bloque de oficinas. En el bloque de laboratorio se midió la altura de entrepiso de subsuelo- planta baja, planta baja-primer piso, planta baja terraza2 y planta baja terraza3.

El levantamiento interior se lo inició por la planta baja del edificio de oficinas, con el uso de la cinta métrica y el distanciómetro a través del método de triángulos como se ve en la figura 37.



Figura 37. Levantamiento con distanciómetro y cinta métrica en campo.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.5.5.1 Escaneo interior con LiDAR del iPhone

De la misma manera como se levantó con triangulación manualmente el pasillo de la planta baja, con el fin de comparar resultados, se realizó el levantamiento escaneo LiDAR del iPhone con el software con el programa “3D Scanner App” versión 2.0.8 (1),

Esta aplicación fue diseñada en Estados Unidos y Alemania por la empresa Labs Laan, dedicada a la creación de aplicaciones móviles, aplicaciones web y robots. 3D Scanner App permite a los usuarios capturar objetos y espacios en 3D, editar y refinar mallas y nubes de puntos y compartirlos en varios formatos.

Se abre la aplicación, donde directamente por defecto se abre la cámara principal del teléfono.



Figura 38. Pantalla principal de 3D Scanner App

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Se presiona opción derecha inferior donde dice “NORMAL” para escoger el modo de escaneo, para este proyecto y se escoge la opción LiDAR Advanced, este modo LiDAR agrega controles avanzados sobre el rango de profundidad máximo y otras opciones de bajo nivel.

En la opción confianza se escoge “HIGH” para mantener los datos de mejor calidad, en la opción de rango se toma “2 metros” para limitar el rango de escaneo y así aumentar la precisión, en la opción de enmascaramiento se selecciona “ninguno” ya que no se va a escanear un objeto puntual ni tampoco una persona, la resolución tomamos “20 mm” ya que según el fabricante mientras el valor sea menor el detalle será mayor y este caso nos interesa es el levantamiento de las paredes y área interior no de detalles como plantas, cerrojos, focos, etc.

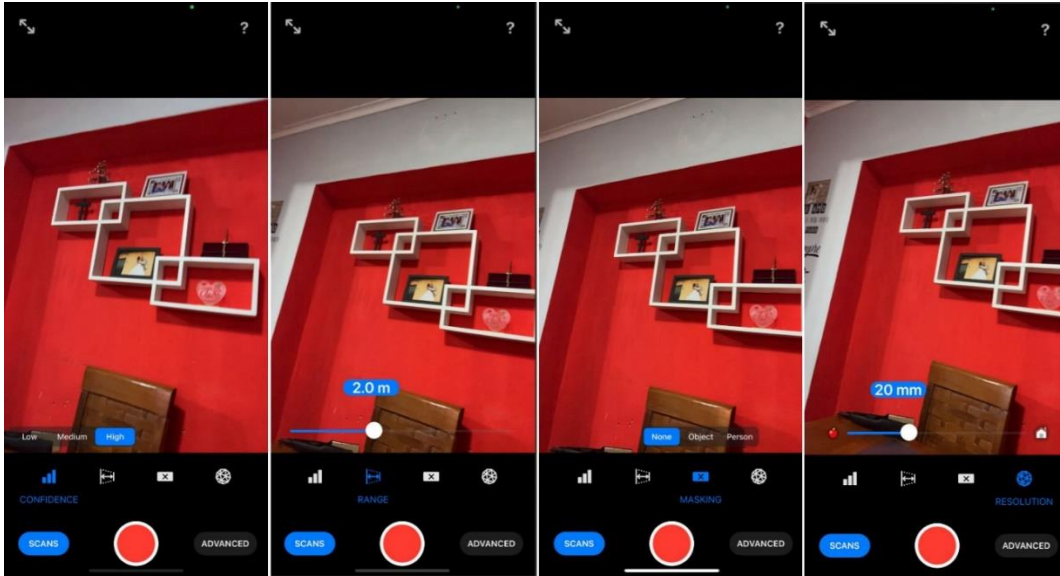


Figura 39. Opciones de escaneo avanzado en 3D Scanner App

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Ya configurado el tipo de escaneo, se presiona en el punto rojo del centro para empezar con el levantamiento de información con el LiDAR. El escaneo se da con un pulsador de láser que genera una triangulación de la superficie. La información levantada con la aplicación se la representa en la pantalla como una malla de color morado sobre los contornos y paredes de la habitación, este proceso se puede apreciar en la siguiente figura 40.



Figura 40. Escaneo en tiempo real con LiDAR

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Después, de haber escaneado específicamente todos los bordes del área a considerar, en este caso el pasillo, se presiona el botón rojo del centro para parar y se espera a que termine de guardar y procesar. Para ver los resultados se presiona en la opción SCANS ubicado en la parte inferior izquierda de la pantalla. Los resultados se lo ven por defecto en una vista en 3D.

El levantamiento de información con LiDAR del pasillo del bloque de oficinas se lo puede apreciar en 3 dimensiones con opción de girar y ver el resultado en la posición que se desea.

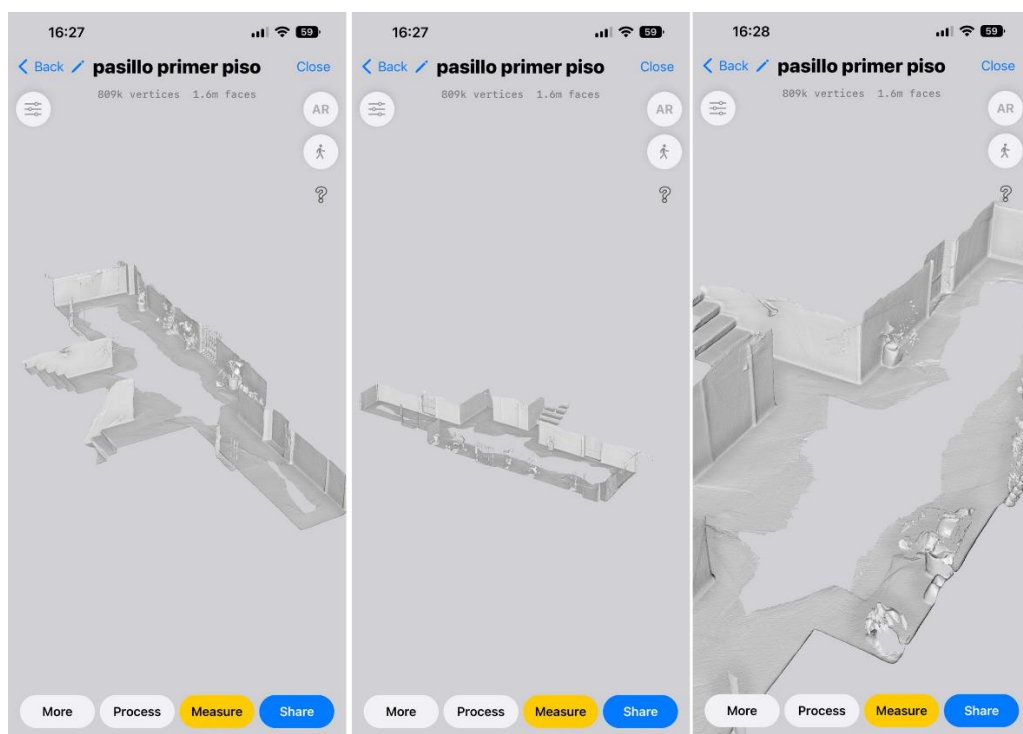


Figura 41. Resultado del escaneo con LiDAR

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Como resultado de este escaneo se obtiene aproximadamente 809 000 vértices de la triangulación y alrededor de 1,6 millones de triángulos. Para mejorar el detalle de texturizado, se presiona en PROCESS y en HD para obtener mejores detalles de textura.

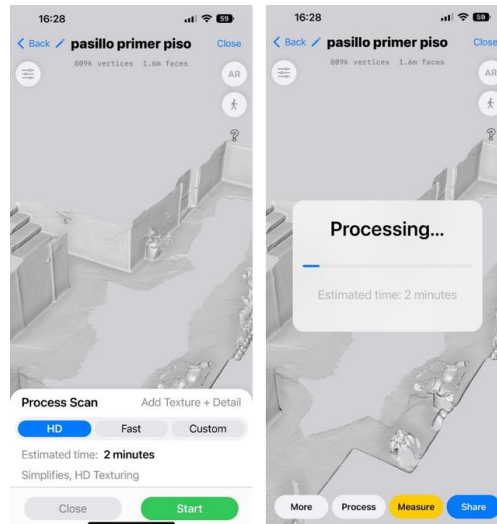


Figura 42. Procesamiento de adición de textura del escaneo con LiDAR

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Se espera alrededor de 2 minutos para que se procese. Después de este tiempo se revisa el resultado, tomando en cuenta que se escaneo precisamente los bordes de esta área.

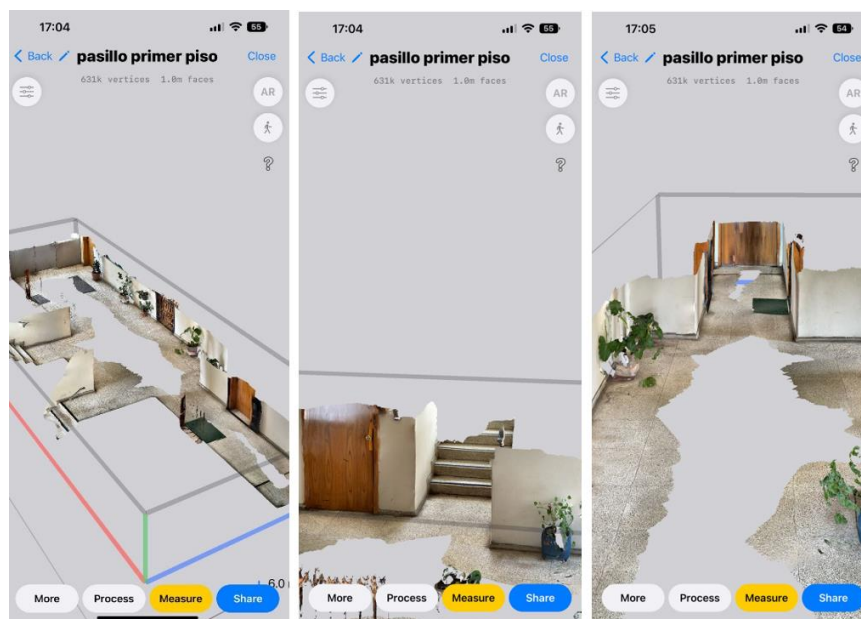


Figura 43. Resultado de escaneo LiDAR en 3D

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Este resultado se puede exportar en distintos tipos de archivos: en video, vista en planta, OBJ, GLTF, GLB, STL, nube de puntos, etc. Nosotros escogemos

la opción FLOORPLAN IMAGE o sea vista en planta, donde nos da opción de exportarlo en archivos JPG, PNG, PDF, SVG, DXF. Para realizar los planos en el trabajo de gabinete escogemos el formato .dxf de AutoCAD, es importante recalcar que este archivo se exportará en metros.

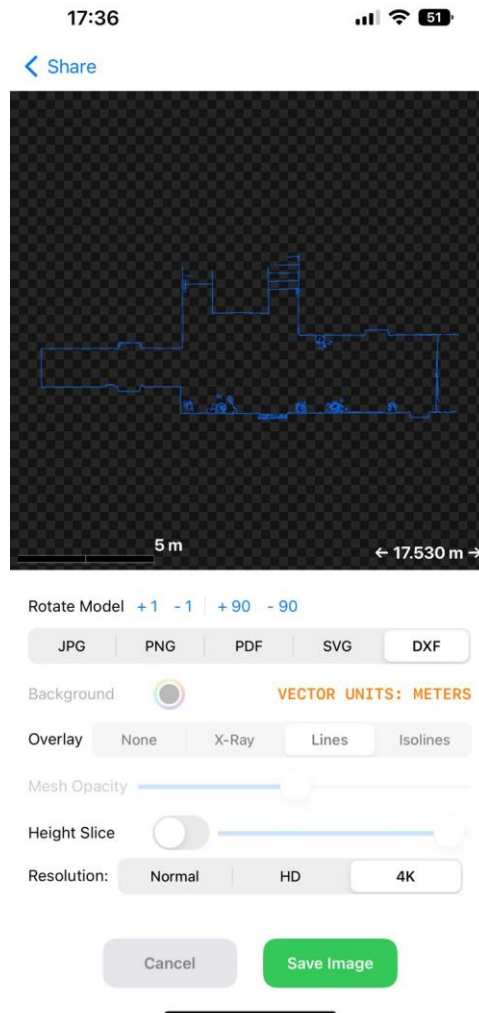


Figura 44. Opciones de exportación de archivo de escaneo LiDAR

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la opción OVERLAY que quiere decir el tipo de borde con el que se desea exportar se toma la opción que viene por defecto que es LINES, en la opción Height Slice se desactiva pues esta significa “corte en altura”, en este caso no se necesita un corte en altura si no la proyección en planta, finalmente se toma la resolución máxima, que en este es 4K para tener un mayor número de detalle. Para exportar este archivo se presiona en la opción inferior derecha *Save Image* y se guarda en

la memoria del teléfono, para finalmente transferirlo al computador donde será analizado y procesado.

En las siguientes figuras 45 y 46 se compara el resultado del levantamiento con método manual de triangulaciones y el levantamiento con LiDAR.

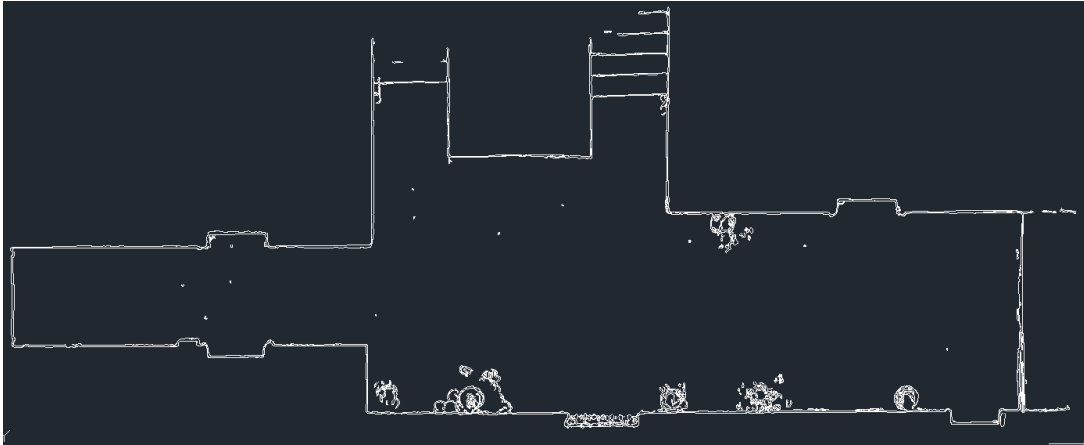


Figura 45. Levantamiento del escaneo LiDAR, archivo DXG.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

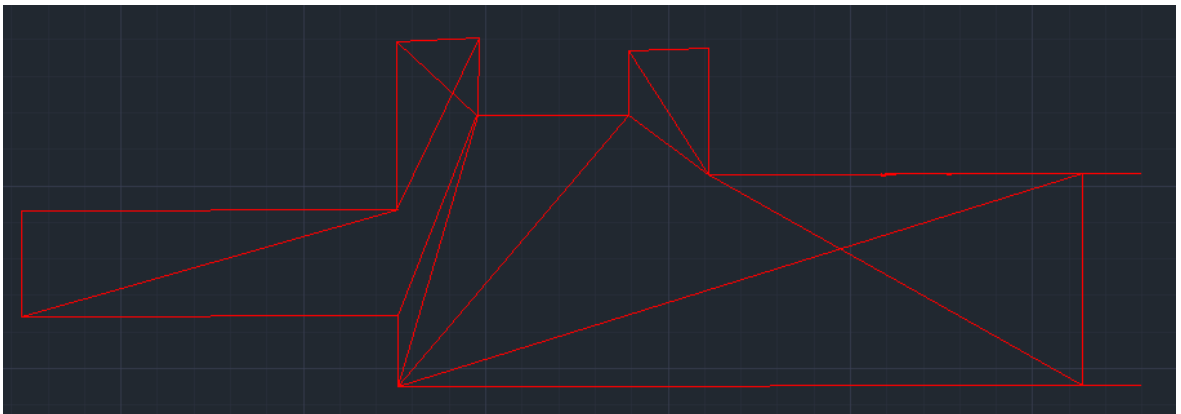


Figura 46 Resultado de levantamiento con triangulaciones

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la sección de trabajo de gabinete se detalla el procedimiento de ajuste del archivo del escaneo LiDAR puesto que existe un pequeño error centimétrico, para corregir este error en esta sección se detalla que es necesario escalar a una medida conocida del espacio levantado para que sea más precisa.

Este proceso realizado con LiDAR para el pasillo de la planta baja, se lo aplicó a todos los espacios de las plantas de los dos bloques del edificio, los resultados de los escaneos exportados se los puede encontrar en el ANEXO III.

2.5.6 MEDICIÓN DE DISTANCIAS PARA GEORREFERENCIACIÓN EXTERIOR CON ESPACIOS INTERIORES.

Para poder georreferenciar todo el levantamiento interior con el levantamiento exterior, es necesario tomar al menos dos medidas de dos puntos conocidos de la estructura con un punto en común del área exterior. Para esto se toma en cuenta el GDL más cercano a la estructura mismo que es el número 2.

Los dos puntos de la estructura fueron la esquina exterior de la entrada principal y la esquina del espacio de gradas



Figura 47. Puntos para georreferenciación interna

Elaboración: (Cervantes, 2022)

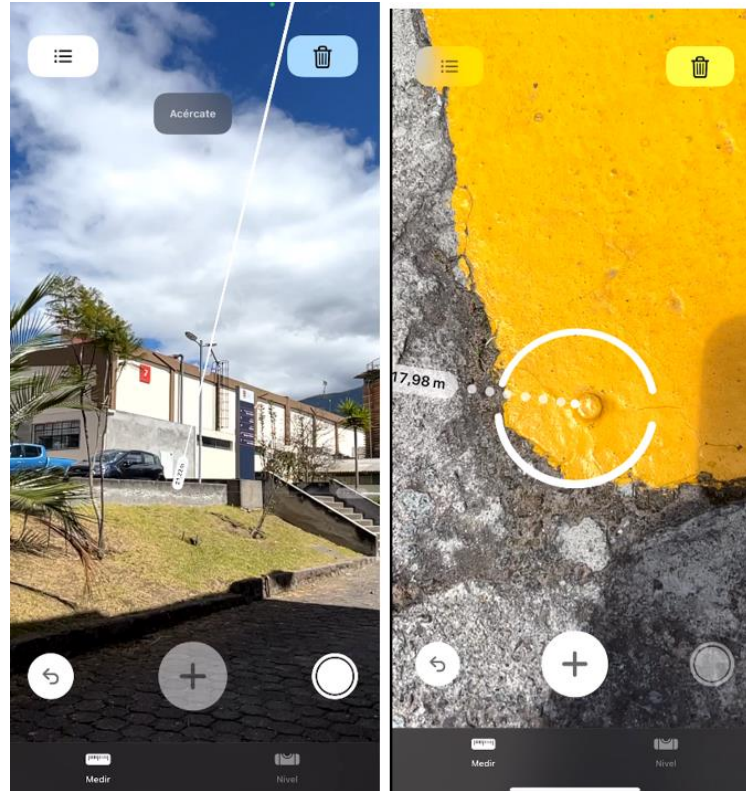


Figura 48. Medición de puntos para georreferenciación interna

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Una vez tomada estas dos mediciones, se las anotó, con la finalidad de llevarlo a AutoCAD y georreferenciar el levantamiento interior.

2.6 TRABAJO DE GABINETE

El procesamiento de información y fotografías tomadas con el UAV Atyges FV8, se lo realizó con el software Agisoft Metashape Photoscan Professional.

El equipo que se utilizó para el procesamiento fue la Work Station del Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI) de la EPN, mismo que es un computador de altas prestaciones diseñado para procesar miles y millones de datos en tiempo mucho menor a comparación de un equipo promedio; las características de este computador son las siguientes:

Especificaciones del dispositivo

Precision 7920 Tower

Nombre del dispositivo	DESKTOP-PQ3JR0L
Procesador	Intel(R) Xeon(R) Silver 4214 CPU @ 2.20GHz 2.19 GHz
RAM instalada	64,0 GB (63,7 GB usable)
Identificador de dispositivo	AAE3195E-5465-4298-9134-3477 C3089EF6
Id. del producto	00391-50003-82519-AAOEM
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64
Lápiz y entrada táctil	La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Copiar

Cambiar el nombre de este equipo

Especificaciones de Windows

Edición	Windows 10 Pro for Workstations
Versión	22H2
Instalado el	3/5/2022
Compilación del sistema operativo	19045.2251
Experiencia	Windows Feature Experience Pack 120.2212.4180.0

Figura 49. Especificaciones de la Work Station

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.1 PROCEDIMIENTO CON AGISOFT PHOTOSCAN

El CIERHI dispone la licencia de uso del Agisoft Photoscan, por lo que no hubo inconveniente por el uso de este software, cabe recalcar que este programa ofrece un tiempo de prueba de 30 días gratuitos con la activación de una licencia de prueba.

2.6.1.1 Procesos preliminares

Hay que configurar parámetros iniciales en el programa tales como verificar que el programa se encuentre en inglés y la escoger la unidad de uso de la tarjeta gráfica del equipo.

Para esto en la opción en la barra superior de herramientas se selecciona la opción *Tools* y en la opción *Preferences*, en la segunda pestaña en *GPU*, se marca el visto de la tarjeta gráfica y se presiona en *OK*.

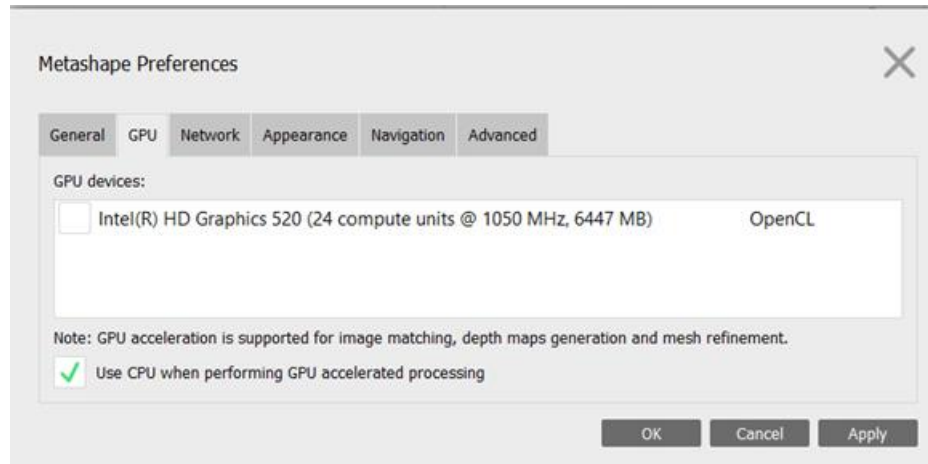


Figura 50. Activación de la tarjeta gráfica en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

La finalidad que tiene esta opción es utilizar al máximo las capacidades de procesamiento gráfico del computador.

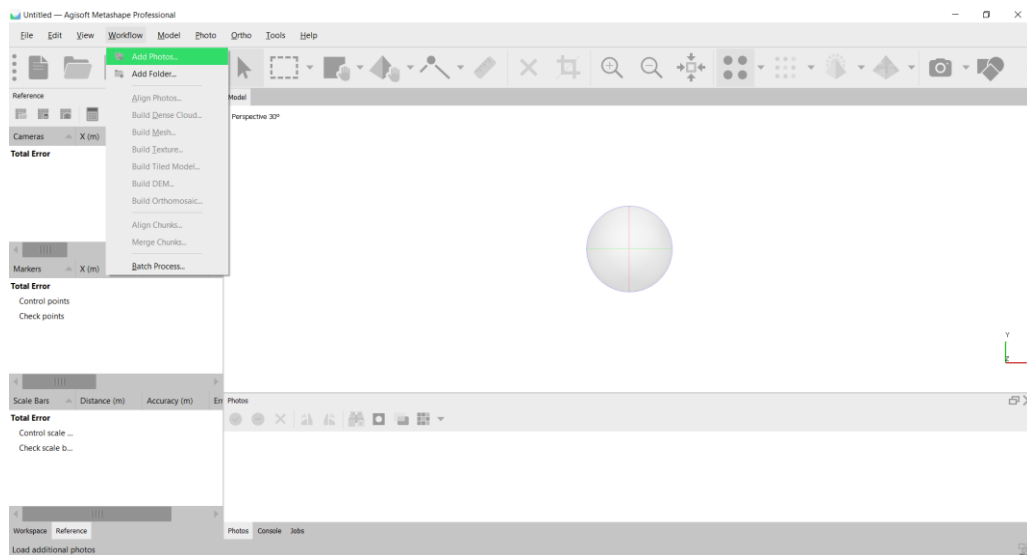


Figura 51. Selección de fotografías en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.1.2 Orientación de fotografías del UAV con Agisoft Photoscan

El objetivo de orientar las fotografías es crear la nube puntos dispersos georreferenciadas.

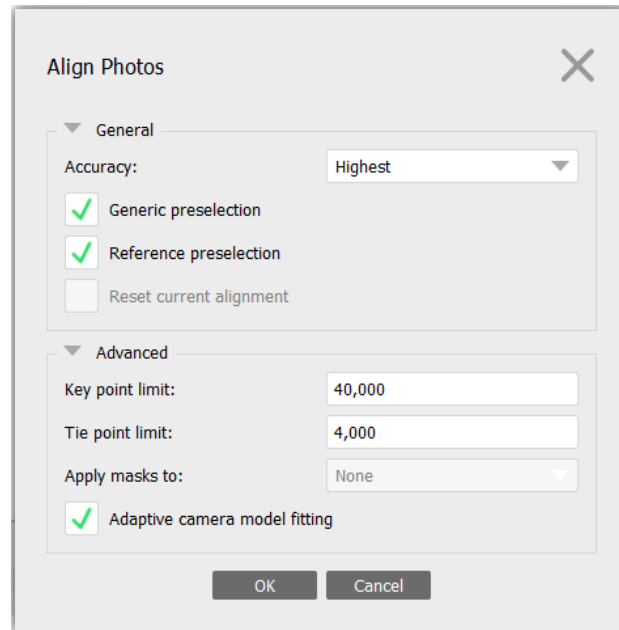


Figura 52. Orientación de fotografías.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

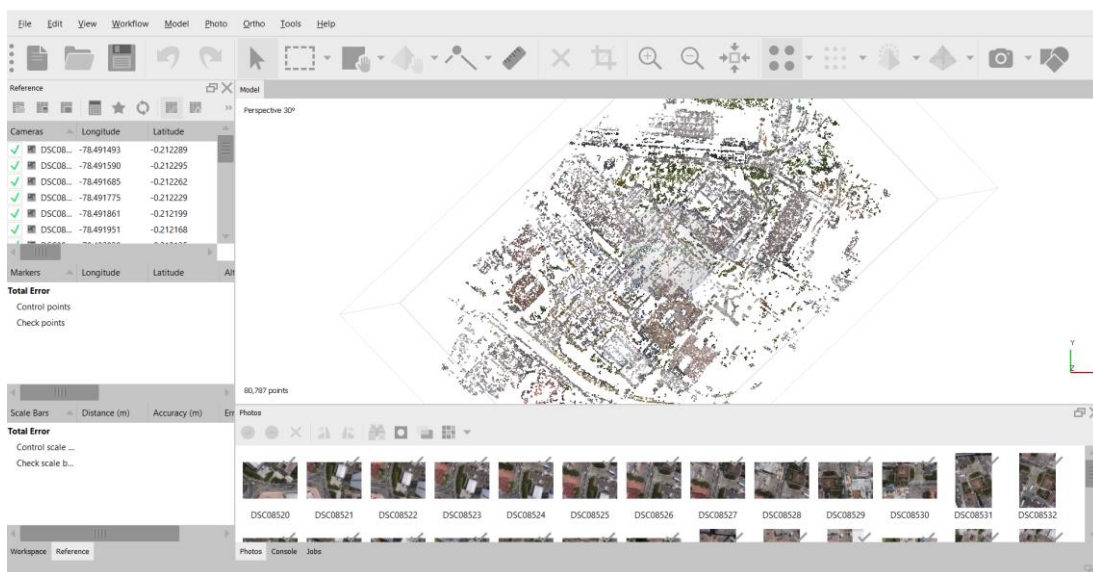


Figura 53. Nube de puntos dispersa.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Para definir el sistema de coordenadas, se necesita ajustar todas las cámaras y corregir los errores en sus coordenadas en función de los GCP, el icono



, se abre una ventana llamada *Reference Settings* donde se selecciona el sistema de coordenadas que se va a utilizar en el proyecto, que en este caso es WGS 84/ UTM zone 17S.

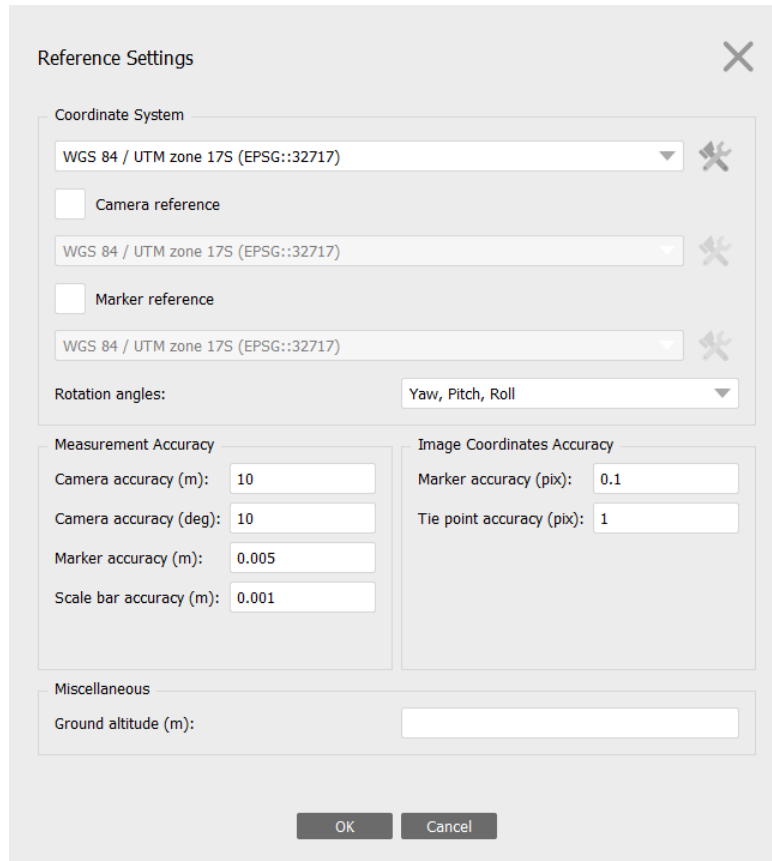


Figura 54. Configuración de sistema de coordenadas en Agisoft Photoscan

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Ahora se ingresa los 6 puntos de control terrestre con la finalidad de georreferenciar todo el proceso, para esto con clic derecho se presiona en la parte izquierda de la ventana en *Markers* y seleccionamos *Add Marker*, se ingresa los 6 puntos de control terrestre y sus coordenadas de la sección 3.3.2.

Markers	▲	Longitude	Latitude	Altitude (m)	
✓	🚩	point 1	779303.885000	9976642.283000	2806.088000
✓	🚩	point 2	779229.005000	9976608.873000	2808.962000
✓	🚩	point 3	779207.881000	9976509.761000	2808.402000
✓	🚩	point 4	779180.932000	9976557.892000	2808.996000
✓	🚩	point 5	779243.436000	9976613.041000	2817.265000
✓	🚩	point 6	779291.050000	9976621.574000	2818.808000

Figura 55. GCP ingresados en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Una vez ingresados los GCP, se procede a ubicarlos en las fotografías para lo cual se escoge una fotografía donde se aprecie claramente el GCP, se realiza zoom y con clic derecho lo más preciso posible sobre el GCP se selecciona el *Place Marker* y se asigna el point1 que corresponde al primer GCP.

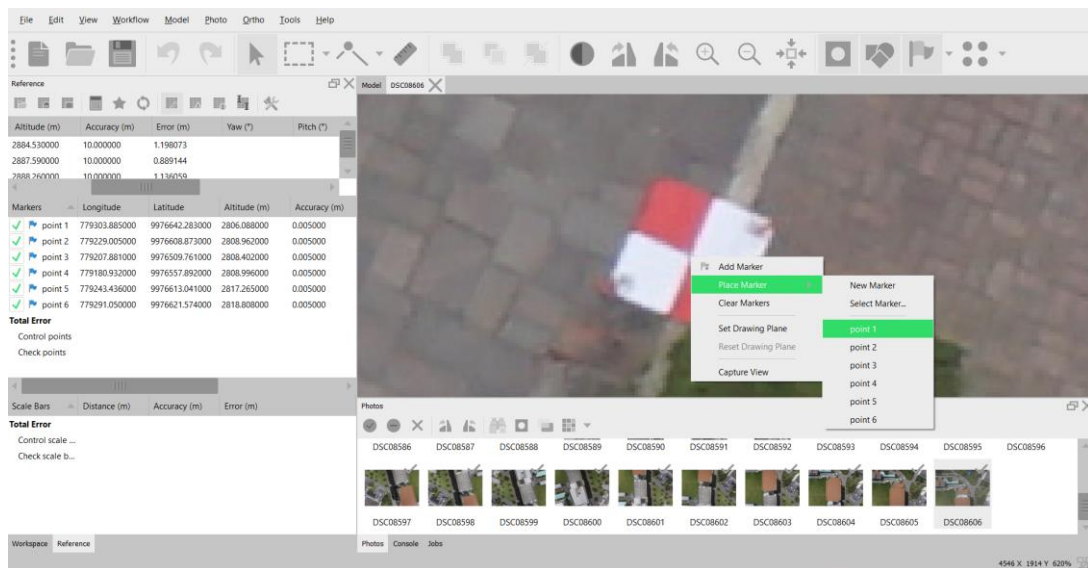


Figura 56. GCP colocados en las fotografías.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Se necesita ingresar los 6 GCP en al menos una fotografía con el fin de que el programa automáticamente reconozca los GCP en las demás fotografías, hay que tomar en cuenta que entre más GCP sean asignados manualmente el ajuste será más exacto. Para verificar el posicionamiento de los GCP se selecciona sobre los GCP con clic derecho la opción *Filter Photos by Markers*, con esto en el cuadro de dialogo inferior se visualizan todas las fotografías que contienen ese marcador, se recomienda realizar los mismo con todos los GCP para verificar que se encuentren correctamente ubicados.

2.6.1.3 Nube densa de puntos con Agisoft Photoscan

Agisoft determina automáticamente la profundidad de toda la información que se ha importado de las fotografías, en base a la posición de cada foto que el UAV tomo, para que toda esa información de profundidad se vea plasmada en una sola nube densa de puntos.

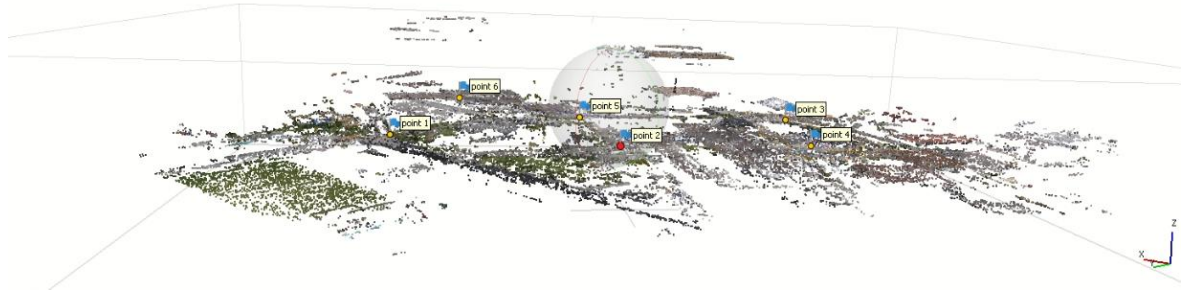


Figura 57. Nube densa de puntos en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.1.4 Generación de malla

Una vez realizada la nube de puntos densa, el programa en base a ésta genera una malla poligonal sobre todo el modelo, el fin de esta malla es que a través de esta calcular áreas y volúmenes sobre el proyecto.

2.6.1.5 Construcción de textura

Con la finalidad de tener una mejor apreciación del proyecto, creamos una textura en base a la malla poligonal antes creada.



Figura 58. Textura en vista 3D del edificio 10 en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.1.6 Modelo de teselas

Para construir el mosaico del proyecto es crucial piezas de teselas o el modelo de teselas, el mismo que aumentan la calidad y resolución del ortomosaico. El modelo de teselas se lo genera a partir del tamaño de cada píxel, y de la nube densa de puntos.

2.6.1.7 Modelo digital de elevaciones

2.6.1.8 Agisoft a diferencia de otros programas en el mercado como lo es PIX4D, solo genera un modelo digital de elevaciones (DEM) en base a la nube densa de puntos, sin embargo, es importante recalcar que existe una variedad de configuraciones en el DEM, como tomar en cuenta o no cantidades representativas de vegetación y construcción. Ortomosaico

El orto mosaico es de gran importancia para este proyecto, puesto que es la vista planimétrica de toda la superficie, donde se va a medir y tomar todos los bordes de la estructura y así generar los planos arquitectónicos de la estructura.

Para generar el ortomosaico en Agisoft Photoscan, se debe escoger la referencia , puede ser en función de la malla poligonal que genera mejores resultados para ortomosaico laterales de fachadas de estructuras, en cambio sí se basa en el DEM, la eficiencia para generar resultados más precisos del ortomosaico en levantamientos aéreos es mucho mejor.



Figura 59. Ortomosaico generado en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.2 DIAGRAMACIÓN DE PLANOS

2.6.2.1 Diagramación del levantamiento externo con UAV

Una vez obtenido el ortomosaico, se lo coloca en un documento nuevo de AutoCAD, con el objetivo de trazar todos los bordes de la estructura reflejada en el ortomosaico. De esta manera podemos ver la importancia de generar un ortomosaico de alta calidad para que el trazado sea lo más exacto posible.

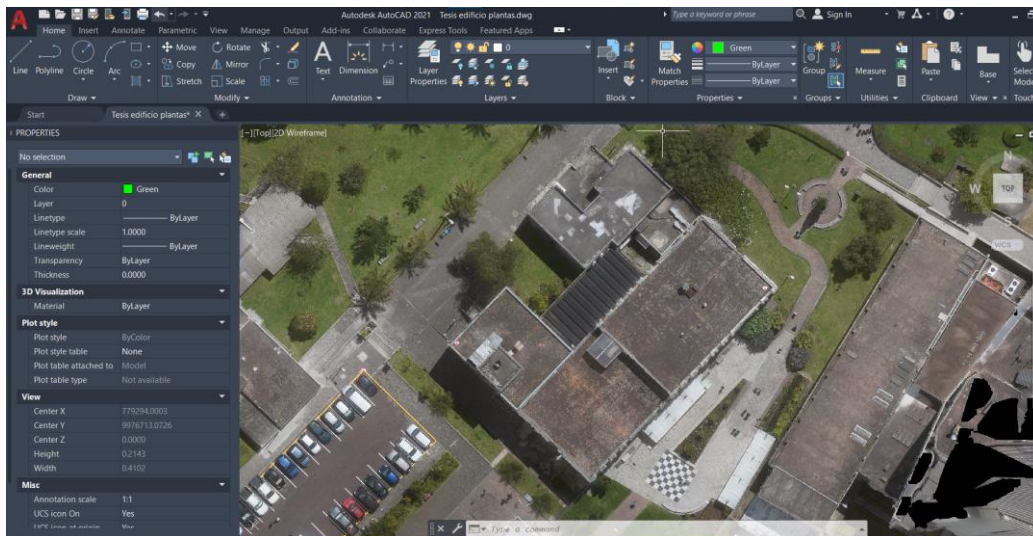


Figura 60. Colocación del ortomosaico en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Se traza una polilínea sobre el ortomosaico alrededor del edificio lo más exacto posible, también se diagrama todas las líneas que conforman distinto niveles de terraza y bloques.

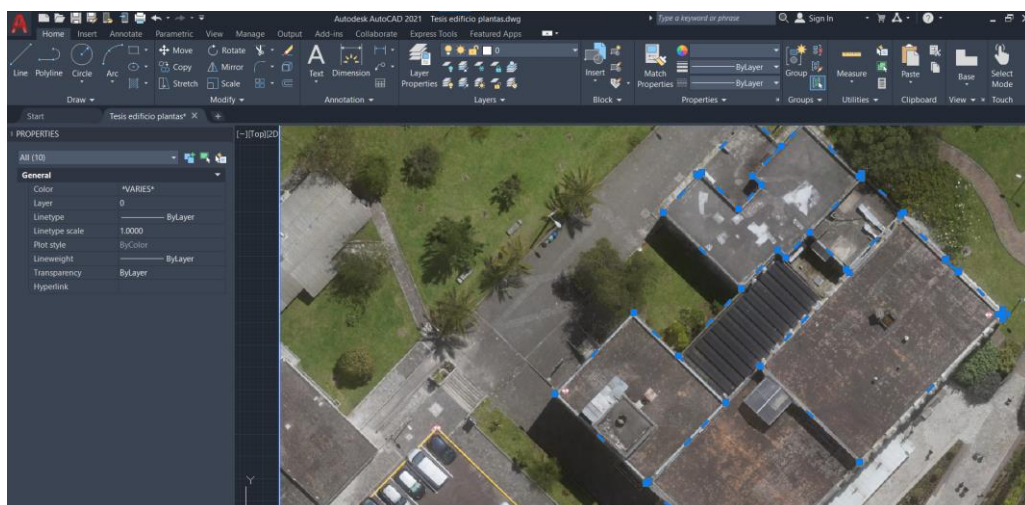


Figura 61. Colocación del ortomosaico en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Ya diagramado todos los bordes, tenemos que ajustar y escalar los trazos, esto se lo puede hacer de dos maneras, la primera es tomar la medida real en campo de un borde del edificio, o también podemos tomar medidas en Agisoft

Photoscan, para detallar la manera de cómo hacerlo desde el computador se tomó la medida desde Agisoft Photoscan.



Figura 62. Medición de borde de referencia en Agisoft Photoscan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

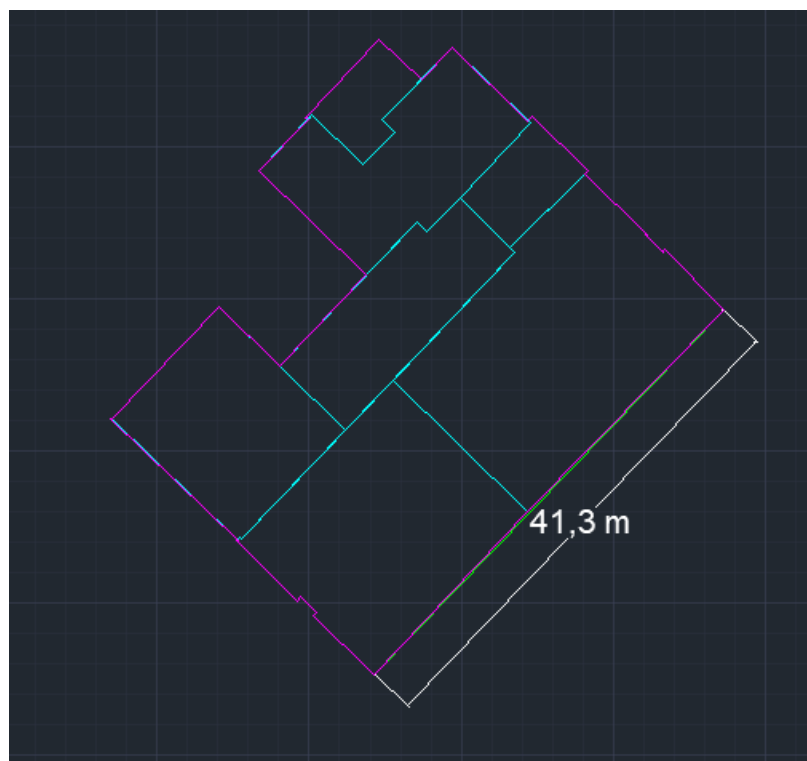


Figura 63. Bordes del edificio escalados en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.2.2 Diagramación del levantamiento interno con LiDAR

Para la diagramación interior de los planos, una vez obtenidos los resultados del escaneo LiDAR en campo, se trazó segmentos alrededor y por encima de los bordes escaneados con el fin de obtener segmentos rectos y así corregir el terminado que deja el escaneo LiDAR. En la figura 64 podemos apreciar la línea color Verde la cual va a ser la que finalmente se utilizará para la diagramación interior, mientras que la línea color blanco es la que se procesó del escaneo LiDAR, es claro notar que esta última línea es de forma irregular.

Para escalar de manera correcta el levantamiento, se toma una medida de referencia en el espacio para escalarlo lo más preciso posible.



Figura 64. Corrección de los bordes correspondientes a espacios internos en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

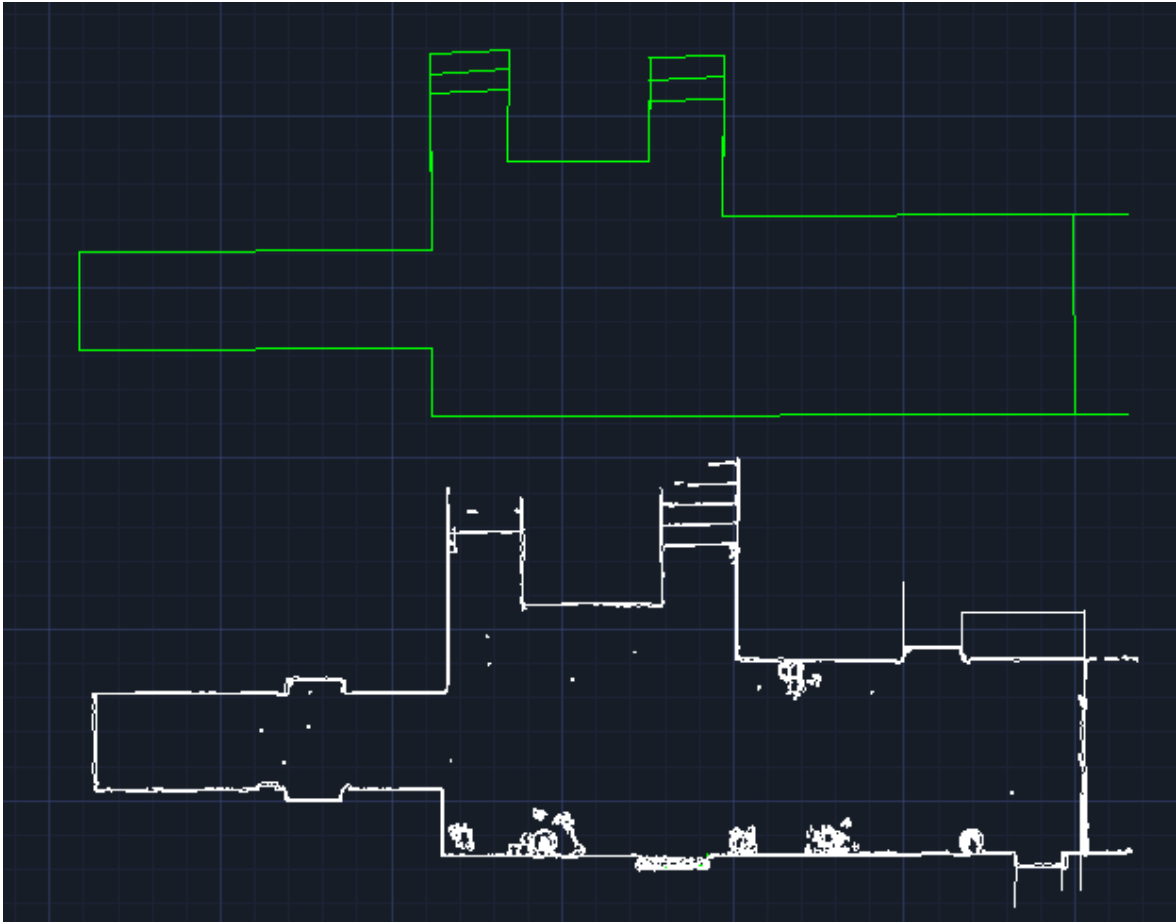


Figura 65. Comparación en espacios interiores de bordes corregidos y bordes sin corregir en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Una vez corregido todos los espacios levantados con LiDAR, se procedió a diagramar los planos en vista de planta de cada nivel tomando en cuenta la georreferenciación interna y externa como se muestra en la sección 3.3.6.

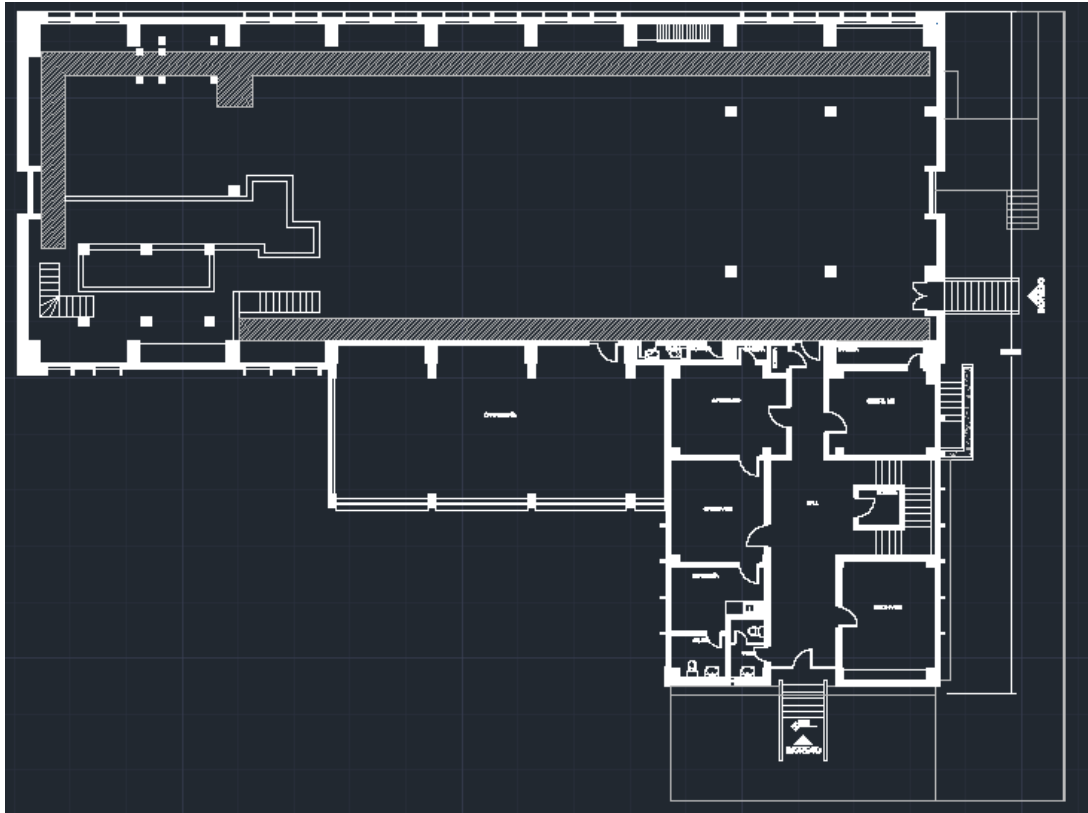


Figura 66. Plano del Nivel +0.00 diagramado en AutoCAD.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la figura 66 se muestra el resultado del levantamiento interno y externo del Edificio 10, es importante recalcar que se tomó el detalle de puertas, ventanas y sanitarios.

2.6.3 MODELACIÓN BIM EN REVIT

La modelación BIM, por sus siglas en inglés “Building Information Modeling”, consiste en una modelación utilizando un software como es Autodesk Revit, que permitieron un ambiente en tres dimensiones y control de cantidad de materiales, costos y planificación.

Para esto hay que tomar en cuenta la geometría lineal y espacial de la estructura, la georreferenciación, detalles de materiales, para que en el momento de darle uso a este modelo tanto los ingenieros, arquitectos, y proyectistas trabajen en torno al modelo BIM. Cabe destacar las ventajas en la modelación BIM del Edificio 10 tales como una estimación de cantidad de materiales, detección del

correcto uso de áreas y espacios en cada planta, una visualización 3d clara en todas las direcciones.

La modelación BIM en Revit, recomienda realizar por separado la estructura correspondiente al diseño de ingeniería y el modelamiento arquitectónico, puesto que en Revit está diseñado para modelarlos por separado.

2.6.3.1 Modelación estructural

Para la modelación estructural del Edificio 10, se importa y vincula los planos de planta, tomando en cuenta que cada plano debe estar un en archivo por separado con las mismas coordenadas para evitar errores por superposición errónea.

Ya que se diagramó solo los planos en planta y no los planos de fachada, con la ayuda de Agisoft PhotoScan, como se puede visualizar en la figura 67.



Figura 67. Obtención de niveles en Agisoft PhotoScan.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En el trabajo de campo se tomó la altura de entrepiso y el ancho de cada losa, datos necesarios para la obtención de todos los niveles del Edificio 10 de losas, terrazas y áreas verdes. Esta información se denota en la siguiente tabla 10.

TABLA 10

NIVELES DE ESTRUCTURA.

NIVELES DE ESTRUCTURA			
NOMBRE	NIVEL REAL	NIVEL PROYECTO	REFERENCIA
ED10 NL9	2805,395	-3,005	SUBSUELO
ED10 NL10	2807,32	-1,08	ENTRADA
ED10 NL1	2808,4	0	LOSA 1
ED10 NL2	2811,355	2,955	LOSA2
ED10 NL3	2814,31	5,91	LOSA3
ED10 NL4	2817,265	8,865	TERRAZA 1
ED10 NL5	2816,22	7,82	TERRAZA 2
ED10 NL6	2818,81	10,41	TERRAZA 3
ED10 NL7	2812,615	4,215	LOSA MADERA OFICINAS
ED10 NL8	2812,23	3,83	LOSA CARPINTERÍA

Una vez definidos los niveles de la estructura, se ingresa el tamaño de los elementos como columnas, vigas y losas. Es importante mencionar que los elementos estructurales ingresados son de hormigón armado, sin embargo, no se detalla específicamente el armado de cada uno pues se desconoce las cuantías de acero que contienen. Este trabajo no se hizo, ya que no está dentro del alcance del presente proyecto de titulación, pero es totalmente factible hacerlo con la tecnología que tiene la EPN.

Se dibuja estos elementos con la ayuda de los planos vinculados tomando en cuenta que se los coloquen con las mismas coordenadas. En primer lugar, se colocan las columnas de toda la estructura. En la figura 68 se puede apreciar en la parte izquierda el plano vinculado donde se dibuja las columnas, mientras tanto en la parte derecha se ve las columnas dibujadas en un entorno de 3 dimensiones donde una puede mirar espacialmente el avance y así evitar errores.

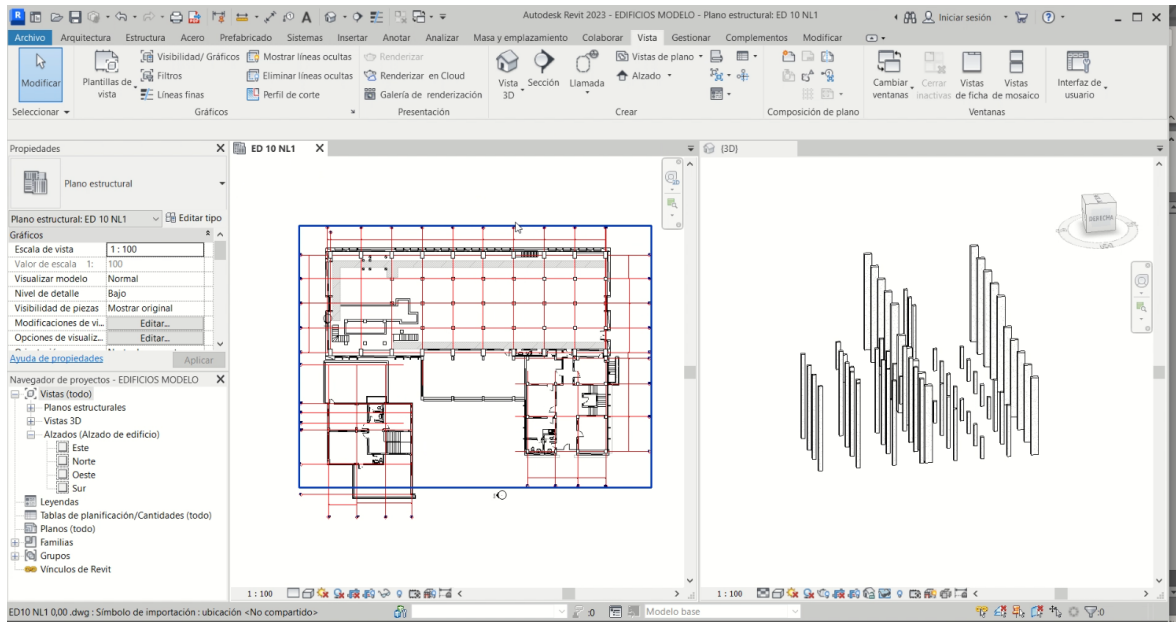


Figura 68. Diagramación estructural de columnas en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

De la misma manera se diagraman las vigas de la estructura tomando en cuenta que obviamente las vigas están embebidas en las losas para colocar el nivel correcto de cada una, esto se puede visualizar en la siguiente figura 69.

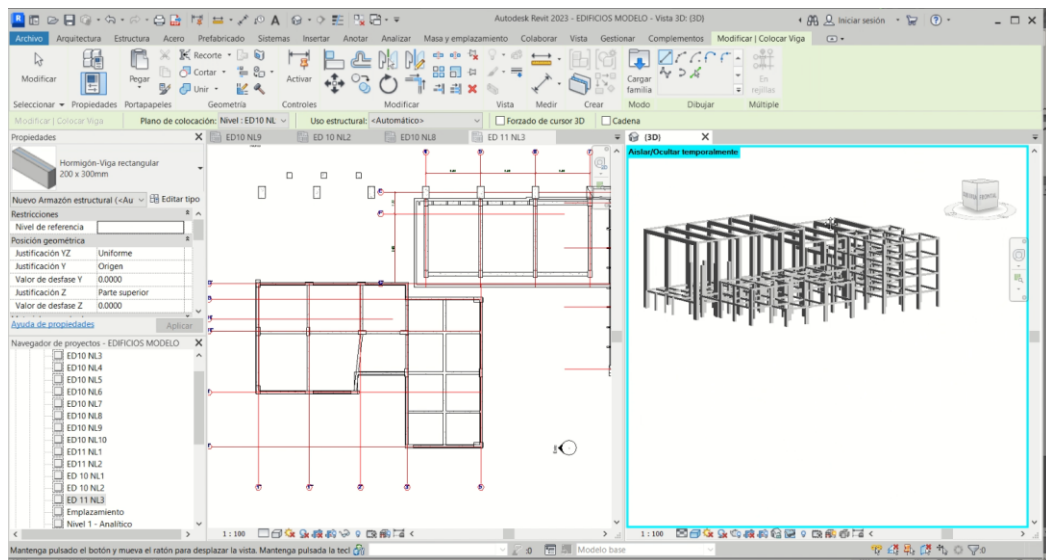


Figura 69. Diagramación estructural de vigas en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Finalmente, dentro de la modelación estructural, se diagrama las losas y las gradas de cada planta, el dibujo en 3d la estructura del Edificio 10 se la visualiza en la figura 70.

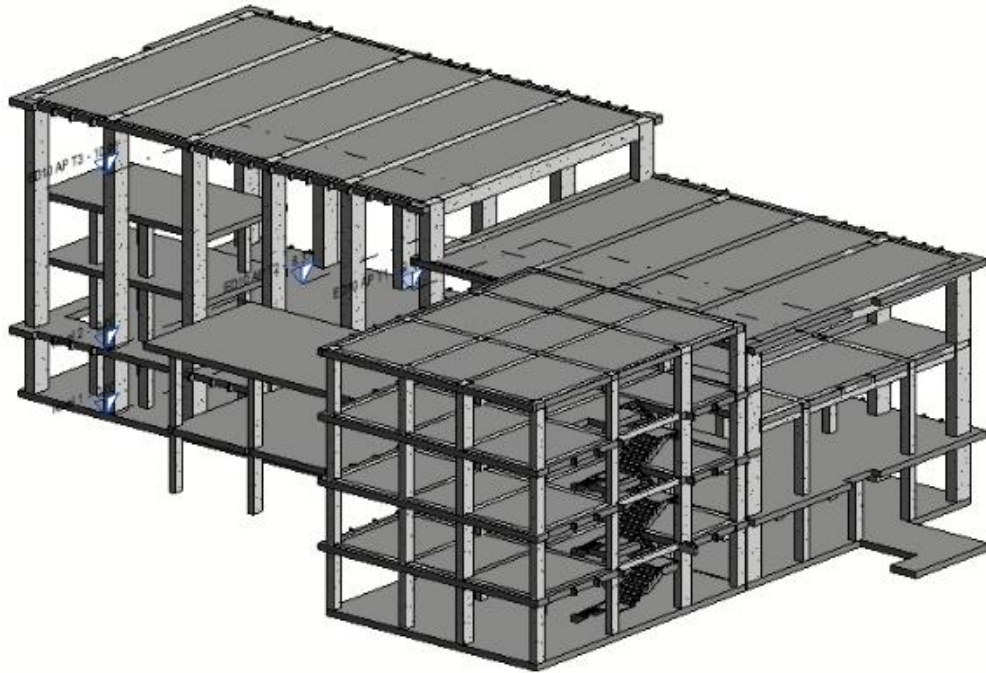


Figura 70. Estructura del Edificio 10 en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

2.6.3.2 Modelación arquitectónica

Para modelación arquitectónica en Revit, se necesita crear nuevos niveles de arquitectura con el fin de diferenciar de los niveles de estructura, en este caso para evitar errores se aumentó en todos los niveles 1 cm, y así tomar en cuenta los acabados que tendríamos en cada losa, los niveles arquitectónicos están en la siguiente tabla 11.

TABLA 11*NIVELES DE ARQUITECTURA.*

NIVELES DE ARQUITECTURA			
NOMBRE	NIVEL REAL	NIVEL PROYECTO	REFERENCIA
ED10 NVA SB	2805,395	-2,995	SUBSUELO
ED10 NVA ENTR	2807,32	-1,07	ENTRADA
ED10 NA L1	2808,4	0,01	LOSA 1
ED10 NA L2	2811,355	2,965	LOSA2
ED10 NA L3	2814,31	5,92	LOSA3
ED10 NA T1	2817,265	8,875	TERRAZA 1
ED10 NA T2	2816,22	7,83	TERRAZA 2
ED10 NA T3	2818,81	10,42	TERRAZA 3
ED10 NA TG	2821,4	13,01	Tapa gradas
ED10 NA LM	2812,615	4,225	LOSA MADERA OFICINAS
ED10 NA CARP	2812,23	3,84	LOSA CARPINTERÍA

La diagramación arquitectónica se la realiza un archivo diferente y nuevo, sin embargo, al crear el archivo se vincula el archivo de la estructura sobre el cual vamos a diagramar todos los elementos arquitectónicos. Lo primero en ingresar en el nuevo documento, son los datos de la mampostería, y en este caso existen paredes de bloque de 10, 20, 25 y 30 cm de espesor, una vez ingresados los valores de mampostería se ingresa, también distintos tipos de ventanas, puertas, divisiones de madera. Si las bibliotecas y familias de Revit no contienen el tipo complemento, se puede descargar gratuitamente de <https://www.bimobject.com/>.

Nuevamente se necesita vincular los planos de AutoCAD, tal como se realizó en el modelamiento estructural con el fin de que en primer lugar se diagrame la mampostería externa del edificio, se recomienda configurar la mampostería antes de que sea la diagrame, tal como su espesor, tipo y capas de acabos, color y materiales, aunque al final también se lo puede cambiar, pero no es recomendable.

Se modela toda la envolvente de mampostería exterior del edificio y las divisiones interiores, es importante recalcar que no se debe dejar los espacios de puertas y ventanas, ya que, en el proceso de modelación de estas, automáticamente el programa las realiza restando, obviamente, la cantidad de mampostería, en la figura 71 se ve modelada toda la mampostería exterior orificios de ventanas y puertas.

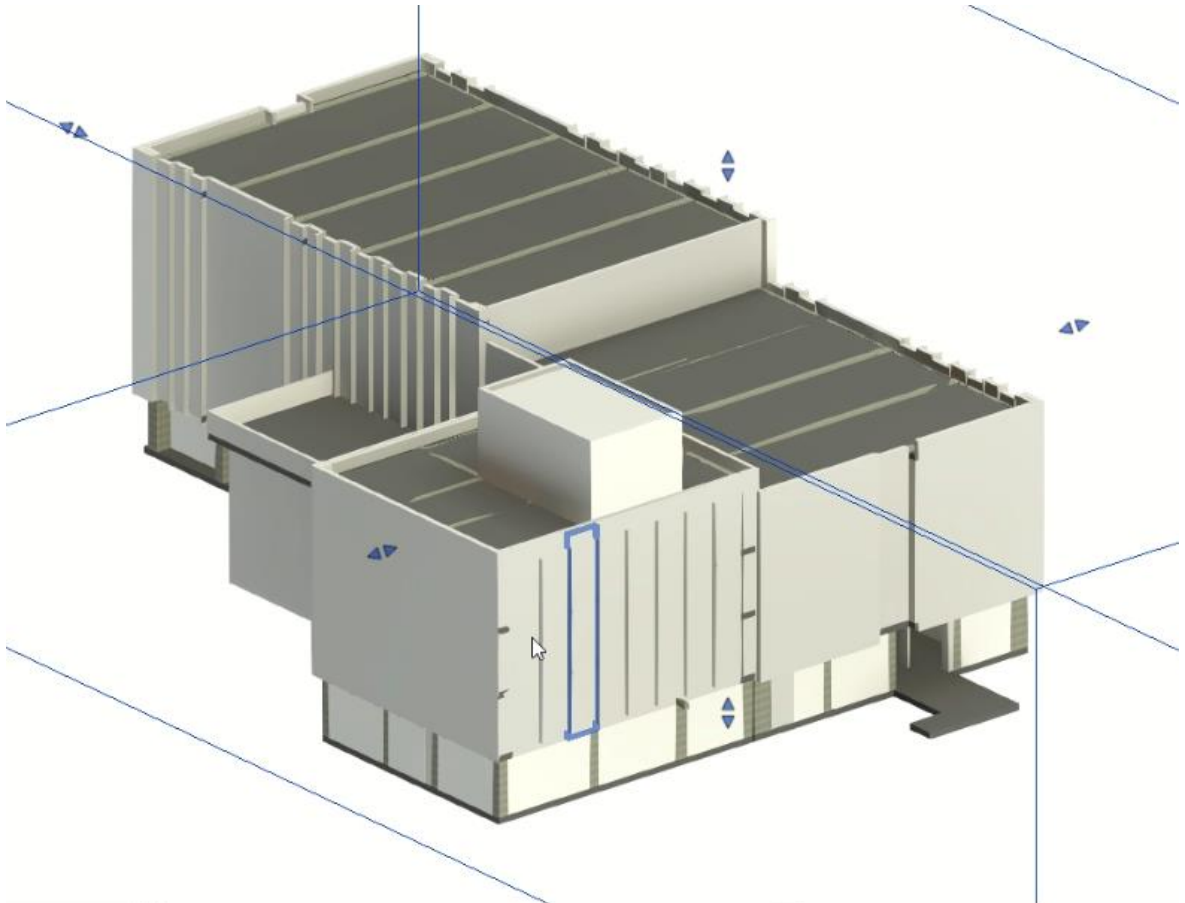


Figura 71. Mampostería exterior Edificio 10 sin orificios en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El siguiente paso es necesario ingresar la mampostería interior y divisiones, de igual manera sin tomar en cuenta ventanas y puertas, mismas que luego serán colocadas.

Utilizando la herramienta caja de sección, se diagramó todas las divisiones y mamposterías existentes, cabe mencionar que esto se realizó en función de los planos vinculados en cada nivel.

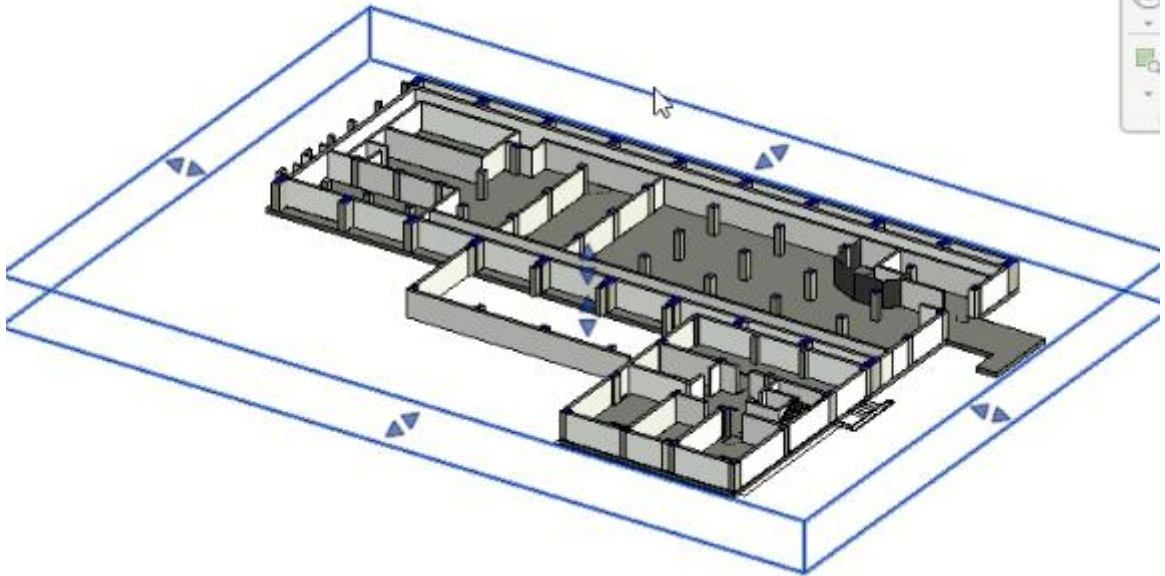


Figura 72. Mampostería interior del subsuelo Edificio 10 en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Una vez diagramado las divisiones, mampostería exterior e interior, procedemos a ingresar las ventanas y puertas de todo el Edificio 10. Para esto se revisó las familias y componentes cargados en Revit, tomando en cuenta que sean componentes con dimensiones editables y dimensionarlo a las medidas que se necesitan en el edificio.

Para la colocación de estos componentes en el área exterior, simplemente en la vista 3D se colocan las ventanas y puertas ya con las dimensiones configuradas.

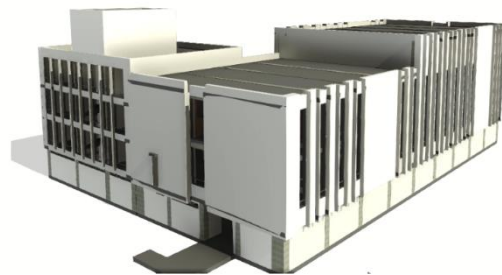
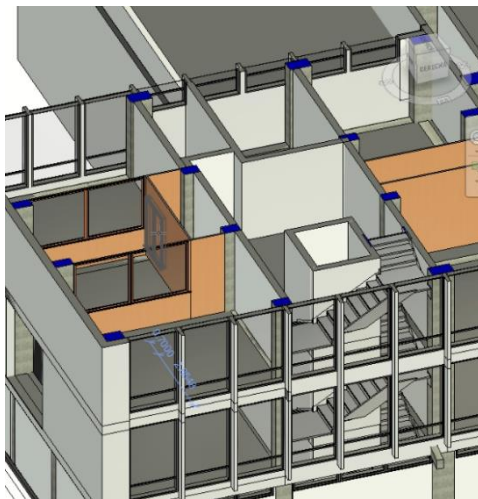


Figura 73. Complementos del Edificio 10 interiores y exteriores en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El siguiente paso es configurar el color de la mampostería, según el detalle fotográfico realizado a toda la estructura, el Edificio 10 tiene una combinación de gris oscuro con tonalidades de azul, amarillo y blanco.

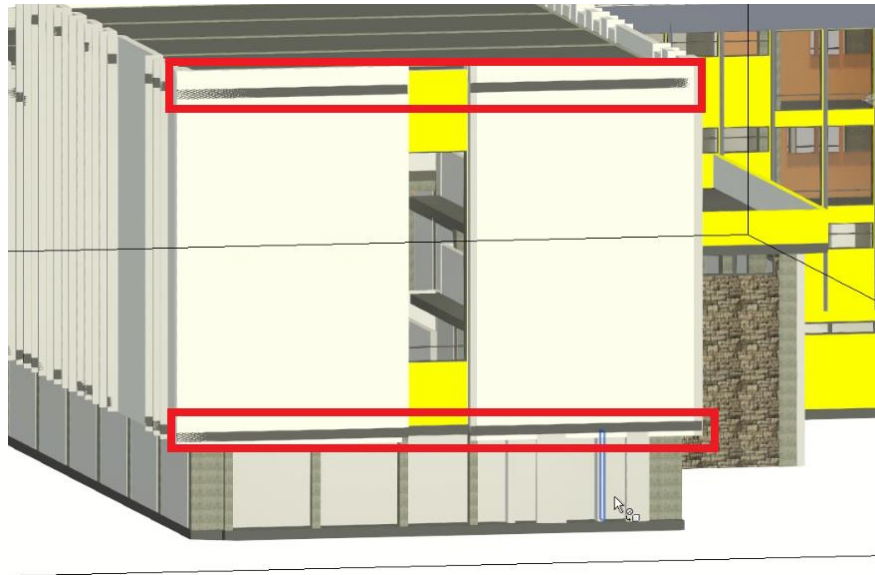


Figura 74. Caras de la estructura de color no editable en el archivo de arquitectura en Revit

Elaboración: (Cervantes, 2022)

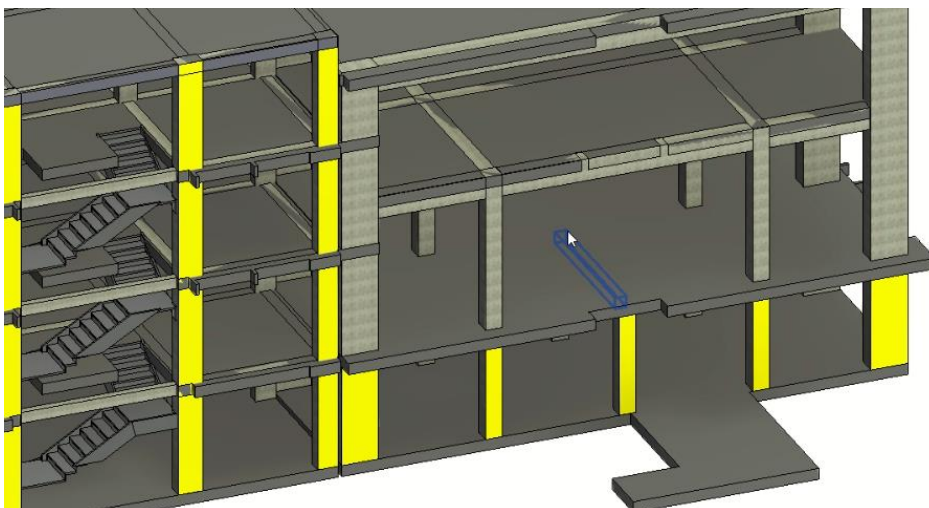


Figura 75. Asignación de color en el archivo de estructura en Revit

Elaboración: (Cervantes, 2022)

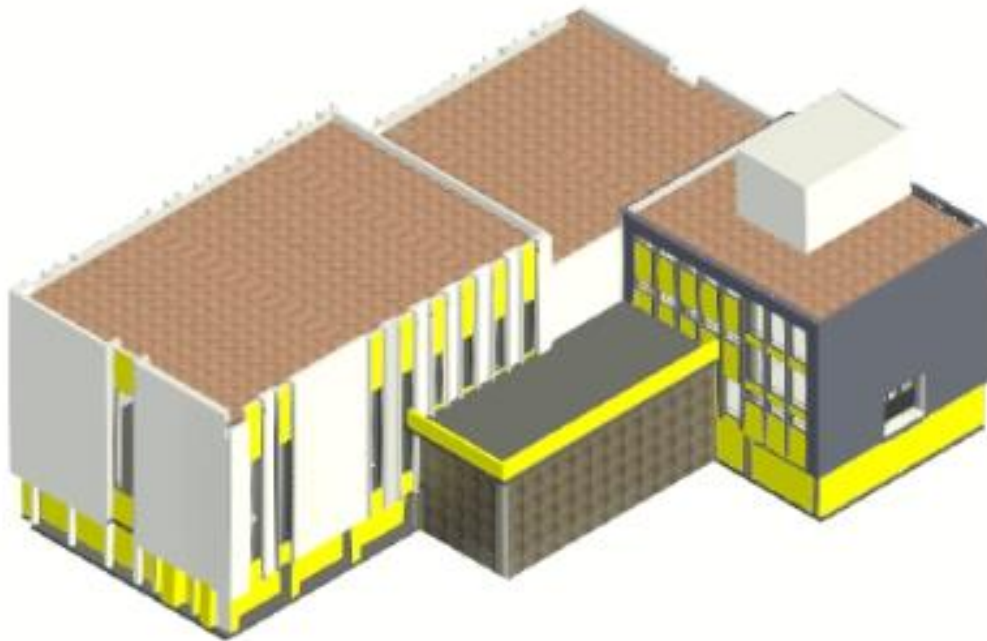


Figura 76. Modelo arquitectónico del Edificio 10 en Revit sin información topográfica.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El edificio 10 con los colores ya asignados como parte de la modelación arquitectónica se lo puede apreciar en la figura 77, en este paso lo restante por realizar en la modelación es el ingreso de la información y modelación de la topografía de los alrededores.

2.6.3.3 Modelación topográfica y georreferenciación

Para llevar a cabo la modelación topográfica, se necesita como primer paso georreferenciar el modelo, para lo cual se toma la información del resultado de la diagramación en AutoCAD, misma que se encuentra ya georreferenciada en X & Y. El software REVIT permite georreferenciar el proyecto de distintas maneras, como por ejemplo ingresando la información de un punto conocido y el ángulo relativo del norte real con respecto al norte del proyecto.

La información de las coordenadas X & Y la tomamos de AutoCAD en una esquina del edificio que tiene la siguiente ubicación, coordenadas X&Y y ángulo relativo del norte:

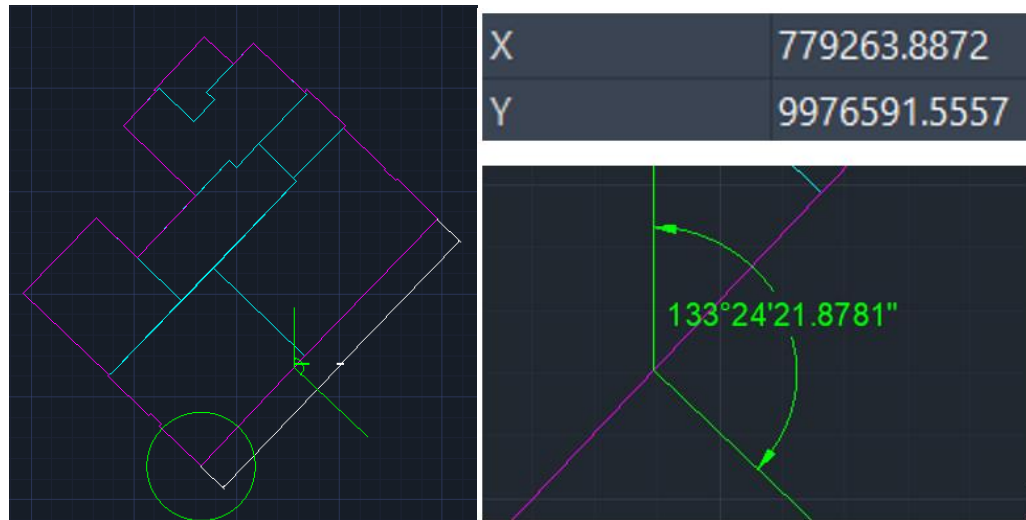


Figura 77. Ubicación, coordenadas y ángulo relativo del norte para georreferenciación en Revit.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

También es necesario tener la información de la cota del punto, esta se la obtiene de la tabla de niveles misma que es 2816,22.

Para verificar la correcta georreferenciación, se selecciona la pestaña *Anotar* donde podemos comprobar con *Cota de elevación* y *Cota de coordenadas de punto* para comparar los mismos datos en X, Y & elevación. Para verificar el norte podemos hacerlo con respecto a la Ortofoto, en Revit seleccionamos una vista en planta de una losa, donde en propiedades de vista seleccionamos en orientación *Norte Real*, esta comparación se visualiza en la siguiente figura 78.

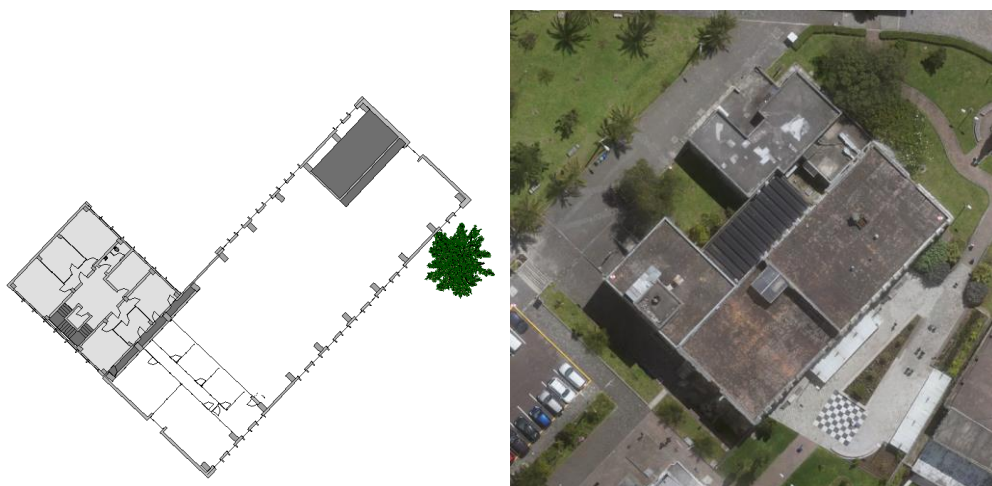




Figura 78. Comparación y superposición de orientación del norte en Revit y Ortofoto.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El resultado final se encuentra en el ANEXO II, donde se puede visualizar cada planta del Edificio 10, la planimetría general y topografía, la estructura, vistas arquitectónicas, vistas 3d y de cámara.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 AEROFOTOGRAMETRÍA Y ORTOFOTO

4.1.1 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

Como resultado del vuelo con el dron y la aerofotogrametría realizada en los alrededores del Edificio 10, tenemos como resultado el DEM o sea el modelo de digital de elevaciones, donde podemos obtener la altura georreferenciada de cada punto que deseemos con el software Agisoft PhotoScan. Además, con seis puntos de control terrestre, dos de los cuales se colocaron intencionalmente y estratégicamente en dos de las tres terrazas del Edificio 10. Con esto se logra un modelo 3D con más precisión, como se muestra en la siguiente Figura.



Figura 79. Modelo digital de Elevaciones en Agisoft Photoscan en perspectiva 3D.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Gracias a este resultado pudimos obtener dos variables de importancia e indispensables: el ortomosaico y los niveles del edificio y terrero.

4.1.2 ORTOMOSAICO

El ortomosaico es el resultado final del procesamiento de las imágenes obtenidas por el UAV en el software Agisoft PhotoScan, se configuró todo el proceso con las prestaciones más altas para conseguir el menor error posible. , sin embargo cabe destacar que el mismo proceso se realizó por estudiantes de la facultad con el fin de comparar el resultado con el obtenido en este proyecto, existen errores en el ortofoto obtenido por los estudiantes ya que no es preciso en el ajuste del borde del Edificio 10, a continuación se puede apreciar la diferencia de los 2 ortomosaico en la zona posterior e izquierda del edificio.



Figura 80. Diferencia de los ortomosaicos obtenidos.

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En la figura 80 se puede ver claramente el error en el ortomosaico izquierdo en las paredes que rodean al Edificio, mientras que en ortomosaico derecho no existe ese error y es continuo a lo largo de todo su perímetro. Este resultado se debe a que el procesamiento que tuvieron las fotografías, fueron realizadas en los equipos del CIERHI, que son equipos para proyectos que demandan altas exigencias para procesar los millones de datos y puntos.

El ortomosaico georreferenciado se lo puede apreciar en la siguiente figura, ortomosaico obtenido en este proyecto.



Figura 81. Resultado final Ortomosaico

Elaboración: (Cervantes, 2022)

4.2 LEVANTAMIENTO INTERNO LIDAR

Gracias al levantamiento y escaneo LiDAR con el iPhone 13 PRO MAX, se obtuvo los planos en planta de los interiores, es importante recalcar que la precisión de este LiDAR es centimétrica y es necesario ajustar los valores con un valor de referencia medido en campo. En la figura 82 se puede apreciar el levantamiento

realizado en las oficinas de la planta baja del bloque de oficinas en el Edificio 10, en este caso se realizó el levantamiento enfocándose principalmente en la superficie de esta área, ya que la finalidad del escaneo es obtener un plano de planta del lugar.

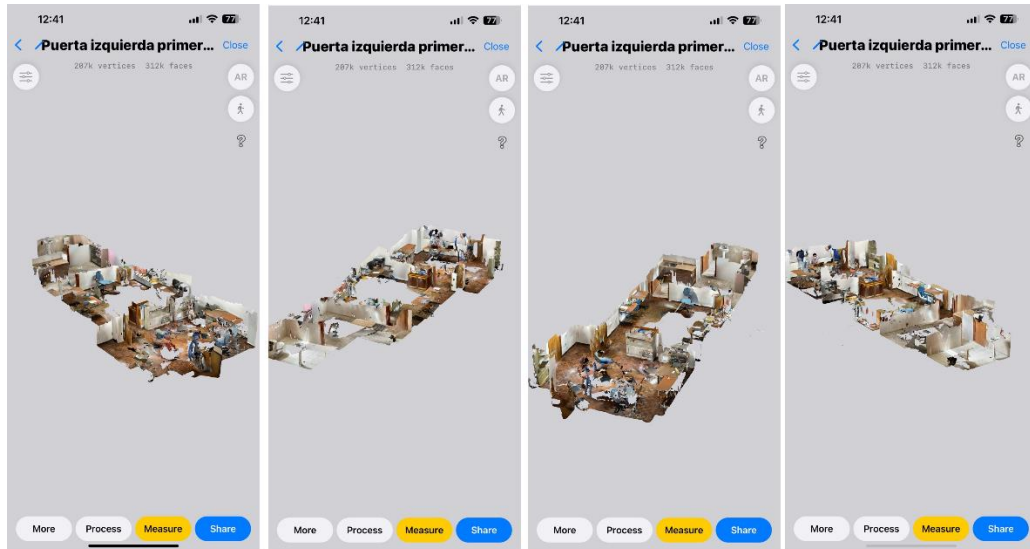


Figura 82. Resultado de escaneo LiDAR en espacio interno

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Ya procesado este escaneo se lo puede exportar en los siguientes formatos de Software y con sus respectivos formatos compatibles:

Software - Compatible Formats

- [Autocad](#) - Import FBX or Point Cloud Files with ReCAP
- [Fusion360](#) - OBJ
- [Revit](#) - Import FBX or Point Cloud Files with ReCAP
- [Recap](#) - Import and manage Point Cloud - supports LAS and XYZ format
- [Microstation](#) - OBJ, FBX
- [Autodesk Inventor](#) - OBJ, STL [HELP]
- [SketchUp](#) - DAE
- [Maya](#) - OBJ, FBX
- [3DMax](#) - OBJ, FBX
- [Blender](#) - OBJ, GLB
- [Vectorworks](#) - OBJ, FBX, - .las, .pts, .e57, and .xyz
- [Archicad](#) - OBJ, DAE, STL, FBX [HELP]
- [Cinema4D](#) - OBJ, FBX, GLTF [HELP]
- [Arcgis Pro](#) - OBJ, DAE [HELP]
- [Photoshop](#) - OBJ, DAE [HELP]
- [CloudCompare](#) - meshes (OBJ, PLY, STL, FBX, etc.) point cloud formats (ASCII, LAS, E57, etc.) [HELP]
- [Meshlab](#) - OBJ, DAE, STL and more
- [Unity](#) - OBJ, FBX, GLB
- [Unreal Engine](#) - OBJ, FBX, GLB
- [Spark AR](#) - OBJ, FBX, GLB
- [Snap Lens Studio](#) - OBJ, FBX, GLB

Figura 83. Formatos compatibles del resultado de escaneo LiDAR.

Fuente : (Laan, J.,2021)

Como resultado del escaneo se obtuvo aproximadamente 207 000 vértices y 312 000 triangulaciones de este espacio. En el trabajo realizado para este proyecto de titulación, se optó por hacer el levantamiento de cada espacio para posteriormente exportarlos a un formato reconocido por AutoCAD. Esto se muestra en la siguiente figura:

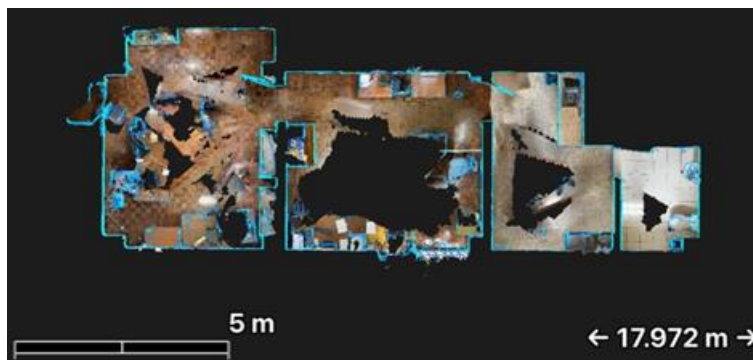


Figura 84. Vista en planta de espacio escaneado con LiDAR

Elaboración: (Cervantes, 2022)

4.3 DIAGRAMACIÓN DE PLANOS

Una vez obtenido los resultados de la aerofotogrametría y del levantamiento interno con el LiDAR, se exportó estos datos para dar como resultados planos en vista en planta de cada nivel, con el fin de que sean base para el diseño 3D en Revit. En la figura 87 se visualiza el plano de la planta baja correspondiente al nivel + 0,00.

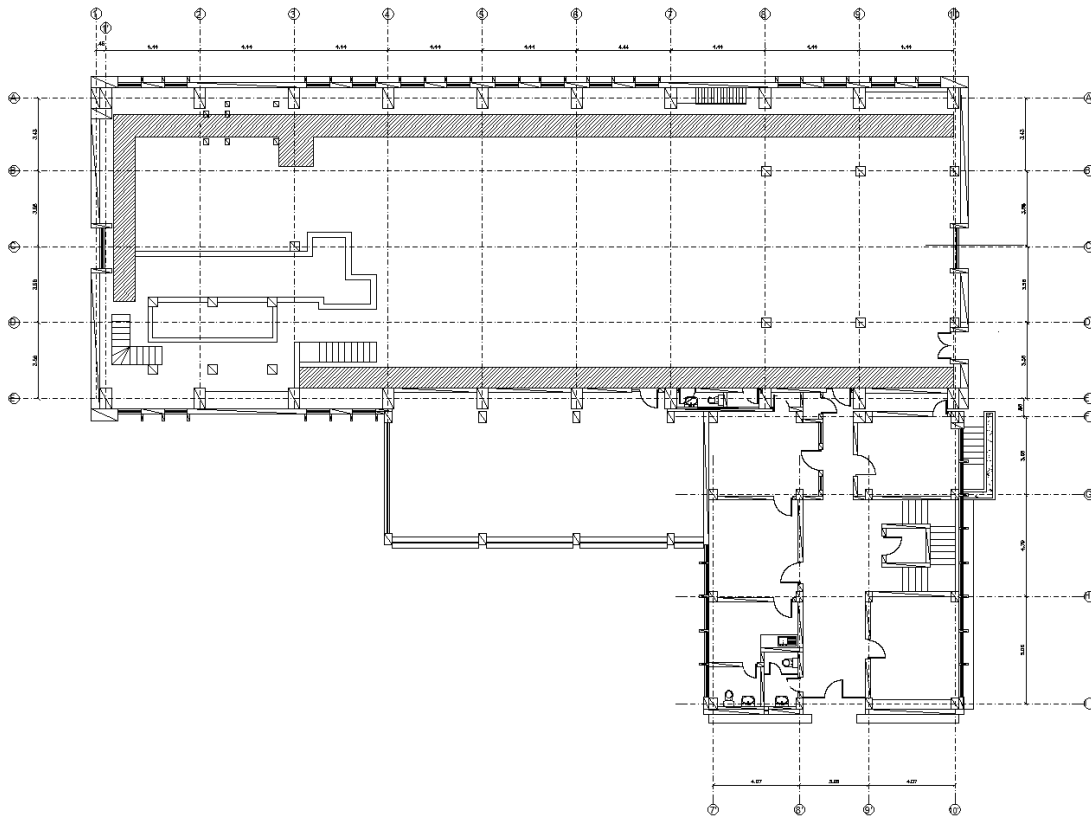


Figura 85. Plano en vista en planta N+0,00

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En total se exportó 9 planos de planta correspondientes al subsuelo, planta baja, primer piso, segundo piso, terraza 1, terraza 2, terraza 3, losa de madera en el primer piso, terraza de la carpintería. Es de vital importancia que estos planos se encuentren georreferenciados en AutoCAD, información que se la puede obtener en Agisoft PhotoScan, con el fin de que al exportarlos a Revit y se encuentren todos en la misma posición para así evitar errores por desfase de alguna planta.

4.4 MODELACIÓN BIM EN REVIT

El resultado final de este proyecto se ve plasmado en este paso, donde todos los procesos anteriores toman sentido y se los diagrama en un modelo BIM en el software Revit, que además de ofrecer una visualización 3D del Edificio 10, es de gran utilidad para obtener cantidades de materiales, detección de conflictos, diferenciar etapas de estado actual, demolición y construcción. En la figura 86 se

visualiza el Edificio 10 ya modelado con su correspondiente topografía y detalles arquitectónicos modelados en Revit.



Figura 86. Modelo final del Edificio 10 en Revit

Elaboración: (Cervantes, 2022)

En el ANEXOS II, se puede visualizar más vistas 3d del modelo final, sistema estructural, vistas de cámara, topografía, vistas de cada planta y planimetría general. Una de las características importantes de REVIT es el cálculo de materiales y cantidades de obra con la elaboración de Tablas de Planificación, de, por ejemplo, muros, puertas, ventanas, losas, etc. Estos datos obtenidos están en el ANEXO V.

4.5 RESULTADOS DE ENCUESTA

Dentro del desarrollo de este proyecto se justificó principalmente su realización debido a la antigüedad y el mal aprovechamiento de los espacios que el Edificio 10 tiene, por lo tanto, para finalizar este proyecto se encuestó a los profesores que laboran en el edificio con preguntas que buscan enlazar las necesidades y falencias que presenta el edificio, que se las puede subsanar con un futuro proyecto de remodelación y restauración de los espacios con el uso de toda la información BIM obtenida.

Pregunta 1.- ¿Cómo calificaría el estado general del edificio 10?



Figura 87. Resultado de encuesta pregunta 1

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El resultado 6,33 indica que el personal que labora en el edificio no está del todo conforme, y por lo tanto sí requiere una reorganización de los espacios en general del edificio.

Pregunta 2.- Además del laboratorio de hidráulica que no se encuentra en funcionamiento, ¿Existe otro espacio dentro del edificio que no se esté dando el uso apropiado?

Las respuestas obtenidas por parte de los encuestados en esta pregunta señalan el mal uso de los espacios obviamente del laboratorio de hidráulica, de las bodegas del subsuelo, bodegas en las partes posteriores del subsuelo donde se encuentra el canal hidrodinámico y finalmente en las terrazas.

Pregunta 3.- ¿Usted cree posible la rehabilitación del laboratorio de hidráulica del edificio número 10?



Figura 88. Resultado de la encuesta pregunta 3

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Pregunta 4.- ¿Con respecto a la pregunta anterior cuál es la razón de su respuesta?

El personal indicó a través de esta pregunta que con el presupuesto indicado se podría reactivar el laboratorio en desuso, arreglar pisos desgastados y en mal estados y finalmente las ventanas que no son nada funcionales.

Pregunta 5.- ¿Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias están en buen estado, específicamente en el piso donde usted labora?



Figura 89. Resultado de la encuesta pregunta 5

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Un 67% de los encuestados indican que las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas están en mal estado

Pregunta 6.- ¿Usted cree que los espacios de las oficinas en el edificio están bien distribuidos?



Figura 90. Resultado de la encuesta pregunta 6

Elaboración: (Cervantes, 2022)

El resultado de 70% muestra la inconformidad por parte del personal de la distribución de los espacios de oficina.

Pregunta 7.- ¿Existe cerca de su oficina un espacio de cafetería y para calentar los alimentos?

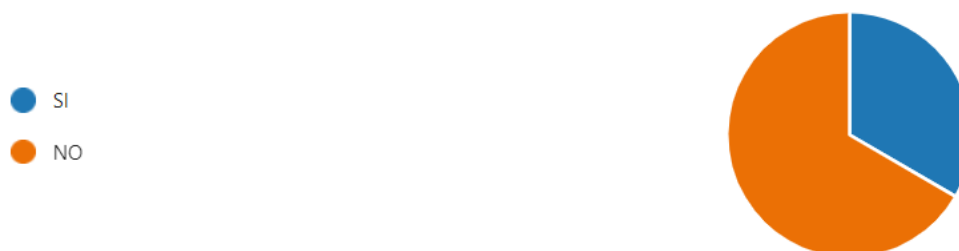


Figura 91. Resultado de la encuesta pregunta 7

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Pregunta 8.- ¿Cree usted que sea necesario el espacio mencionado en la pregunta anterior?



Figura 92. Resultado de la encuesta pregunta 8

Elaboración: (Cervantes, 2022)

Con respecto a la pregunta 7 y 8 se nota que hay necesidad de un espacio para calentar alimentos o cafetería en cada piso.

Pregunta 9.- ¿Cuáles son otros problemas, además de los mencionados en esta encuesta, que usted ha notado en el edificio?

Existen vidrios rotos a lo largo de edificio, malos olores debido a cañerías en mal estado, fachada con mal aspecto y mala distribución de la luz. Debido a estas respuestas se requieren una remodelación argumentan los encuestados.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 LEVANTAMIENTO AROFOTOGRAMÉTRICO

5.1.1 CONCLUSIONES

- El levantamiento topográfico se realizó con la técnica de la aerofotogrametría, donde se obtuvo curvas de nivel con variación de 2806,04 m.s.n.m a 2807.09 m.s.n.m, dando una variación máxima de 1,5 metros, por lo que se concluye que las áreas que rodean al Edificio 10 son relativamente planas, sin tomar en cuenta los niveles correspondientes al edificio.
- Para la obtención de buenos resultados en procesamiento de la aerofotogrametría, es de vital importancia configurar un buen plan de vuelo, puesto que en él se establece las configuraciones esenciales como es la altura de vuelo, la cantidad de traslape de cada fotografía, el área a levantar, la trayectoria del dron, lugar de partida y de aterrizaje, grado de inclinación de cámara y finalmente el tiempo estimado de vuelo que lo genera automáticamente. Todo esto para evitar daños del equipo y ser más eficiente en la toma de datos
- Se utilizó el método NTRIP, puesto que este método es recomendable cuando la estación a la que se conecta está ubicada cerca del área donde se va a realizar el levantamiento topográfico. En este caso, se encuentra en el Instituto geográfico Militar ubicado en la parte sur del campus de la Escuela Politécnica Nacional concluyendo que los resultados de estos puntos son muy favorables a comparación del método con trípode que requiere alrededor de 2 horas en cada punto.
- La correcta planificación de los puntos de control terrestre es muy importante, pues en el procesamiento de las fotografías el modelo generado es mucho más preciso. Fue necesario tener 4 puntos en el terreno y 2 puntos en las terrazas, esto generó una excelente información en el modelo digital de elevaciones.
- El procesamiento de las fotografías adquiridas por el UAV en el software Agisoft PhotoScan, dieron como resultado la obtención de información topográfica del terreno, los niveles exteriores de la estructura, georreferenciación de todo el levantamiento, el modelo digital del terreno, el ortomosaico y la interpretación

gráfica del lugar en 3D. Gracias a esta técnica podemos manejar la información con mayor facilidad convirtiéndose así en una herramienta muy útil para la ingeniería.

- La aerofotogrametría con el UAV generó un buen ortomosaico gracias a diferentes factores que influyeron positivamente: los buenos factores climáticos, la buena planificación de la ubicación de los puntos de control terrestre, gran calidad de las fotografías y la excelente computadora como lo es la WorkStation del CIEHRI.
- Con el levantamiento topográfico utilizando el método de la aerofotogrametría, se obtienen buenos resultados, como los obtenidos en este proyecto, sin embargo, actualmente existen métodos mucho más precisos, con mayor detalle, como lo es el levantamiento con UAV con sensor LiDAR profesional. No obstante, debido a su elevado costo no es muy común disponer de esta tecnología en nuestro país, solo muy pocas compañías que ofrecen este servicio de alta precisión.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- Es importante planificar el vuelo del UAV tomando en cuenta, factores climáticos, baterías de reemplazo, restricciones legales de vuelo como se indica en el ANEXO I, densidad de vuelo, vías de acceso a la zona de interés y buena señal GPS.
- Colocar un adecuado número de puntos de control terrestre, mínimo 3 y la adecuada posición de estos, si se desea realizar el levantamiento de un edificio se podría colocar un GCP en la terraza para ajustar de mejor manera el procesamiento de las fotografías. Los GCP deben estar marcados de manera clara y de una medida considerable, utilizando lonas, pintura o triángulos de parqueo. En este caso, se utilizó lonas de color rojo y blanco, de al menos 60 cm.
- Las coordenadas geográficas de los Puntos de control terrestre se deben tomar con GPS de alta precisión, en el caso de este proyecto se lo realizó con un sistema GNSS TRIMBLE R8S con el método NTRIP, que consiste en un método mucho más rápido que solo requiere una estación base, un servidor y

el rover del usuario, obviamente teniendo acceso a internet, con esto se obtiene información geográfica exacta de cada GCP.

- El manejo del UAV y del GPS, debe realizarlo personal capacitado, puesto que, al ser herramientas de alto costo, no se puede poner en riesgo por negligencia o desconocimiento estos equipos. Si los equipos son parte del LEMSUR, son ellos los que deberían manejar los equipos.
- Para obtener un alto detalle de las fachadas del Edificio 10 con la aerofotogrametría, es recomendable configurar el ángulo de inclinación de la cámara 45 °, lamentablemente por fallas técnicas el día del vuelo no se pudo configurar este parámetro.

5.2 LEVANTAMIENTO INTERIOR CON LiDAR

5.2.1 CONCLUSIONES

- El levantamiento LiDAR realizado con el celular iPhone 13 PRO MAX, obtuvo buenos resultados tomando en cuenta que es un sensor LiDAR básico con un alcance máximo de 5 metros y diseñado con orientación a la fotografía.
- En general, la evaluación de precisión en el iPhone brindó información adicional sobre sus capacidades y mostró resultados interesantes. Logrando precisiones absolutas de la nube, entre 7 mm y 3 cm. El Modelado de información de construcción (BIM) encuentra útil al iPhone para generar conjuntos de datos en lugares con características fácilmente identificables, como tuberías grandes, columnas, paredes, gradas, etc.
- Con este sensor aun relativamente nuevo, el potencial que tiene para mejorar es indudable dentro del campo de la ingeniería, puesto que tiene algunas ventajas como su facilidad de uso con un entrenamiento mínimo, la portabilidad y un costo relativamente bajo a comparación de LiDAR profesional.
- Es necesario escalar el levantamiento LiDAR con este sensor en cada área con valor medido manualmente de alta precisión como lo es un distanciómetro láser, puesto que el modelo es aceptablemente preciso mas no muy exacto, las triangulaciones generadas por el LiDAR son bastante precisas, sin embargo,

las mediciones reales en conjunto del espacio deben ser escaladas con un valor real.

- La información levantada con el LiDAR del iPhone es de tamaño considerable, por lo tanto, es necesario disponer de espacio suficiente en el dispositivo, ya que un escaneo puede ir desde cientos de megas, hasta decenas de gigas de espacio requerido para almacenar la información debido a la cantidad de puntos que el láser obtiene.
- Es de suma importancia, escanear todos los bordes inferiores del espacio, para generar un plano en planta de buen resultado, ya que no tendría sentido escanear paredes o tumbados que no se verán reflejados en el plano en vista en planta.
- El escaneo LiDAR puede ser exportado a través de 3D MAX, directamente a Revit, a través de una nube de puntos, por lo tanto, sería innecesario exportar la información para un plano en vista en planta de AutoCAD. Se debería ahorrar el paso realizado en este proyecto al exportar los planos en planta, ya que conllevó mucho tiempo de diagramación de los planos.

5.2.2 RECOMENDACIONES

- Realizar el levantamiento LiDAR de espacios relativamente pequeños, puesto que la precisión de este sensor se ve limitada conforme se levante la información de espacios cada vez más grandes.
- Para comodidad y mayor precisión se recomienda usar un estabilizador manual como lo es el OSMO DJI, que se basa en tecnología avanzada, diseñada para mantener el celular plano sin importar el movimiento.
- Al interior de las edificaciones es importante tomar en cuenta que haya una buena cantidad de luz al momento de levantar la información con el LiDAR para obtener una textura lo más depurada y con gama de colores lo más reales posibles; esto por el hecho de que el LiDAR trabaja en conjunto con la cámara del teléfono.
- Escanear todo el espacio interno, para ahorrarse el paso de la diagramación de planos en planta, ya que, si se escanea todo el espacio, se puede exportar esta información directamente al modelamiento en REVIT (a través de 3D MAX).

Los planos en planta solo sirven para calcar los elementos vistos en 2D y crear los elementos en 3D, mismo procedimiento puede ser directo del escaneo a la modelación 3D en Revit.

5.3 MODELACIÓN BIM EN REVIT

5.3.1 CONCLUSIONES

- Se plasmó todo lo realizado, en el modelo 3D con el levantamiento aerofotogramétrico utilizando el UAV, la topografía, el ortomosaico, el modelo digital de elevaciones, el levantamiento interno LiDAR, los planos en planta generados en CAD de todos los niveles del edificio, con un proceso de modelación de la estructura, modelación arquitectónica, modelación topográfica y finalmente la georreferenciación de todo el modelo.
- La modelación del Edificio 10, está totalmente dirigida para que se la utilice como parte de futuros proyectos de remodelación, reorganización de espacios o reforzamiento estructural. Esta modelación BIM no contiene detalles de reforzamiento estructural, sin embargo, si es una pieza importante en caso de que se lo realice y se desee plasmar este reforzamiento de forma visual editando este modelo y plasmando los cambios que se necesite, convirtiéndolo en una herramienta visual importante para este fin.
- En un futuro no muy lejano el uso del CAD será obsoleto, puesto que este tipo de diagramación se la realiza con líneas, puntos, curvas en dos y tres dimensiones; por su parte Revit crea entidades con propiedades, geométricas físicas y mecánicas, en cualquiera de las ramas de la construcción (arquitectura, estructuras, instalaciones, etc). Por lo que si la modelación se la realiza directamente en Revit se podrá encontrar y controlar cantidad de materiales, cantidades de obra y presupuesto, además de la ventaja de visualización en tiempo real en tres dimensiones.
- El Edificio 10 tiene más de 50 años de uso y consecuentemente el desgaste en su estructura y su arquitectura es evidente además, por medio de las entrevistas con los usuarios del edificio se pudo confirmar, que es necesario

una remodelación que puede ser propuesta y ejecutada por la Escuela Politécnica Nacional a través de su Departamento de Planificación .

- La modelación de este proyecto no contiene información exacta de la estructura, puesto que para obtener esta información es necesario un proceso destructivo para verificar el tipo de cimentación, y en caso de la armadura de acero en columnas, vigas y losas, se lo puede realizar con el escaneo de varillas, información exacta que se la puede ingresar al modelo realizado en este proyecto.
- La manera correcta de modelar este tipo de edificios debe ser en el orden correcto, primero arquitectura y luego estructura, de esta manera es mucho más fácil el modelado de miembros estructurales y detalles arquitectónicos.
- La georreferenciación de todo el modelo depende de que el ortomosaico sea de buena calidad. Para georreferenciar el modelo Revit se necesita un punto de coordenadas conocidas, la altitud y el ángulo relativo del norte real.

5.3.2 RECOMENDACIONES

- En un proceso BIM, se debe modelar por separado los proyectos estructural y arquitectónico; de igual manera se puede crear otros proyectos de otras especialidades como hidrosanitaria, sistema contra incendios, eléctrica, datos, etc.
- Una de las mayores ventajas de modelar BIM en Revit es tener la oportunidad de visualizar en 3 dimensiones y realizar cortes en cualquier plano para revisar a detalle automáticamente secciones de cualquier elemento o área facilitando la comprensión visual en diseño y en obra.
- Se puede obtener rápidamente la cantidad de materiales, volúmenes de obra, y presupuesto, para optimizar notablemente la planificación constructiva, ahorrando así dinero, tiempo y materiales.
- Los planos importados de AutoCAD deben estar en documentos diferentes con la misma georreferenciación, con el fin de evitar desfases en la superposición de las plantas en Revit.
- En caso de que se requiera modelar una estructura existente, como lo fue en este proyecto, es bueno abastecerse de la mayor cantidad de fotografías de las fachadas y detalles arquitectónicos. El Edificio 10 de la EPN, tiene muchos

detalles en su arquitectura exterior, por lo que las fotografías ayudan a tener un respaldo para la modelación más cercana a la real. Este software permite diferenciar cada etapa de modelación, como lo es construcción existente, derrocamiento, y construcción nueva para tener en cuenta con claridad las cantidades de materiales por separado en caso de una remodelación o algún cambio que se proponga tanto en su estructura o arquitectura.

- Es recomendable, tener siempre una ventana con una vista en 3D aparte de la vista en planta; esto permite mejor control, para así evitar errores.
- En la modelación de ventanas y puertas se recomienda realizar todas las paredes sin huecos, ya que al modelar estos elementos se restará su cantidad automáticamente, sin embargo, es muy importante no traslapar las paredes para no duplicar la cantidad de material en esas uniones.
- Se sugiere la inclusión de asignaturas dentro de la Malla Curricular de la Facultad en áreas de competencia actual como el BIM y el LEAN, las cuales, no se las imparte en la actualidad convirtiéndose en una debilidad en el perfil de egreso de los profesionales ecuatorianos. , ya que actualmente en países como USA y gran parte de países de Europa, la inclusión de este conocimiento es primordial en el ámbito de la construcción, diseño y planificación.
- La mayoría de los edificios de la EPN, necesitan propuestas de remodelación y reorganización de espacios debido a su antigüedad, para lo cual se recomienda que se lo haga utilizando herramientas BIM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROEXPO. (2020). Dron profesional - RPAS FV8 - Atyges - para toma de imágenes aéreas / de inspección / de ala rotatoria. <https://www.aeroexpo.online/es/prod/atyges/product-180208-17361.html>
- Agisoft Metashape: About. (s. f.). <https://www.agisoft.com/about/>
- Alonso. (2006). *Exactitud, precisión y error*. Www.um.es. https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node26_mn.htm
- Apple. (2021). iPhone 13 Pro. Apple (Georgia). <https://www.apple.com/ge/iphone-13-pro/>
- Armijos, S. (2022). El metaverso ofrece nuevas experiencias de interacción para empresas y marcas. VISTAZO. <https://www.vistazo.com/enfoque/el-metaverso-ofrece-nuevas-experiencias-de-interaccion-para-empresas-y-marcas-GD3775329>
- Arroyo, F. (2022). Estudio confirma navegantes entre Ecuador y México mucho antes de conquista. swissinfo.ch. https://www.swissinfo.ch/spa/ecuador-arqueolog%C3%ADa_estudio-confirma-navegantes-entre-ecuador-y-m%C3%A9xico-mucho-antes-de-conquista/47877168
- ATYGES. (2021). Atyges FV8+ - Drons Profesionales | ATyges ®. <https://atyges.es/tienda/atyges-fv8/>
- Aviación Civil EC. (2020). Dirección general de aviación civil. <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>
- Brenes, L. (2016). Metodología para la generación de mapas tridimensionales a partir de fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado. Tesis. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CRI, 2016.

- Burgos & C. (2014). Salcedo. Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. Tesis. Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino, ARG, 2014.
- Carretero, S. (2015) Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado. Tesis para el título de ingeniero en Energía. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cerillo, A. (2010). Formato LAS, el estándar de datos LiDAR | LiDAR.com.es. <http://lidar.com.es/2010/11/18/formato-las-el-estandar-de-datos-lidar/>
- Claros, R. (2016). APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA AÉREA EN LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS. Tesis para el título de ingeniero civil. Universidad de El Salvador. El Salvador
- Costales, G. (septiembre de 2018). Análisis comparativo entre los softwares de prueba Agisoft Photoscan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- COTECMI. (2022). DRON MULTIROTOR FV8 TOPODRON PPK – Especificaciones Técnicas. [En línea]. Obtenido de: <https://www.cotecmi.com/atyges>
- Cuerno, C. (2015). Origen y desarrollo de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto. Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid. *Los Drons y sus aplicaciones a la ingeniería civil (pp. 15-32)*. Madrid-España. Dirección general de industria, energía y minas de la comunidad de Madrid.

- DGAC (2015), Dirección General de Aviación Civil (2015) Resolución Nro. 251. Operación de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como Drons. Dirección General de Aviación Civil, Quito, ECU.
- DronDeploy. (2019). Dron Buyer's Guide. Recuperado el 08 de agosto de 2019, <https://www.Drondeploy.com/resources/ebooks/2017-Dron-buyers-guide/#form>
- DronDeploy. (2019b). Pre-Flight Checklist. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <https://support.Drondeploy.com/docs/pre-flight-checklist>
- Duarte, K. (2018). EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE DISTINTOS SOFTWARE PARA LA GENERACIÓN DE ORTOFOTOMOSAICOS A PARTIR DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES TOMADAS CON UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7895>
- Escuela Politécnica Nacional (2020). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental > Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DICA). From: <https://www.epn.edu.ec/laboratorio-de-investigaciones-hidraulicas/>
- Fernandes, A. Z. (2017, diciembre 5). *Diferencia entre exactitud y precisión*. Diferenciador. <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-exactitud-y-precision/>
- Fernández Lozano & Gutiérrez Alonso. (2016). Aplicaciones Geológicas de los Drons. Revista de la Sociedad Geológica de España 29 (1), 2016., 89-105. D.
- Geocom. (2022). Trimble R8S GNSS. Geocom. Recuperado el 6 de diciembre de 2022, de <https://www.geocom.cl/products/trimble-r8s-gnss>
- Giordan, A. Manconi (2017) F. Remondino & F. Nex. Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards,

Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8(1), pp. 1-4. Disponible en:
DOI:10.1080/19475705.2017.1315619

Gómez, J. (Ed.). (1966). Creación del instituto de hidráulica y la facultad de ingeniería hidráulica de la EPN (Vol. 5). Revista de la Asociación de la Escuela Politécnica Nacional.

Guerra, L. (2017). Identificación del error y la calidad de los productos empleando diferente software mediante el uso de la aeronave no tripulada ux5. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, COL

Gutiérrez, J. (2014). Topografía para las tropas – IGM. Manual básico de topografía y cartografía del Instituto Geográfico Militar de Chile. 9, pp. 143, Disponible en:
<https://tinyurl.com/2r3sk6n8>

Hernández. (2006). Introducción a la fotogrametría aérea digital. Universidad de Castilla La-Mancha. [En línea]. Obtenido de:
http://www.sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Introduccion_Fotogrametria_Digital.pdf, 2006.

Jarrín, A. (2020). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, MENCIÓN HIDRÁULICA. Quito, 2020. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21313>

Laan, J. (2021). *3D Scanner App- How Mobile LIDAR is redefining professional 3D workflows*. Laan.com. <https://labs.laan.com/casestudies/professional-workflow-case-study/>

López, A. (2014). Planificación de vuelos fotogramétricos para V. para cliente QGIS. Tesis para el título de Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Oviedo, Mieres, España. (p. 32 más anexos).

- Lauter, C. (2021). iPad lidar demos and teardowns give a peek at its potential (and limitations). Geoweeknews.com. <https://www.geoweeknews.com/news/ipad-lidar-demos-and-teardowns-give-a-peek-at-its-potential-and-limitations>
- Lin, Y. Hyppä, J. and Jaakkola, A. (2011), "Mini-UAV-Borne LIDAR for Fine-Scale Mapping," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 8, no. 3, pp. 426-430, May 2011, doi: 10.1109/LGRS.2010.2079913.1
- Pajares (2015). Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,, pp.281–330. Disponible en: DOI:10.14358/PERS.81.4.281
- Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil (Ira Ed., pp. 45—57). Cáceres, España: Servicio de Publicaciones Universidad de Extremadura.
- Rahman (1994). Digital Terrain Model Data Structures. Buletin Ukur, Jld. 5(1), pp. 61-72. Disponible en <http://eprints.utm.my/id/eprint/4977/1/Digital.pdf>
- Ruiz, V. (2022, marzo 1). ¿Qué diferencia hay entre exactitud y precisión? Quimiclan. <https://www.quimiclan.com/diferencia-exactitud-precision/>
- Santana (2007). Propuesta de sistema multi-UAV para aplicaciones de cobertura de área. Tesis. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, ESP, 2007.
- Sarría, F. A. (2006). El Modelo Digital de Terreno. <https://www.um.es/>. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- SCSEquipos. (2022). ¿Qué es NTRIP? Conoce sus ventajas para la topografía GNSS RTK. SCS Equipos. https://www.scsequipos.com/que-es-ntrip-conoce-sus-ventajas-para-la-topografia-gnss-rtk/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=que-es-ntrip-conoce-sus-ventajas-para-la-topografia-gnss-rtk

- Sony. (2022). Cámara α6000 con montura E y sensor APS-C. Sony.
<https://www.sony.com.ec/electronics/camaras-lentes-intercambiables/ilce-6000-body-kit>
- Tapia, I. (2017). Análisis topográfico a detalle de un tramo de la quebrada shanshayacu, sur del DMQ, usando técnicas aerofotogramétricas, como información base para el análisis de estabilidad de laderas [EPN].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18836>
- Trimble. (2022). Sistemas GNSS Integrados: Trimble R8s. [En línea]. Obtenido de:
<https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r8s>
- Vera, J. (2022). ¿Qué es un sensor LiDAR y cómo funciona? UAV Latam.
<https://uavlatam.com/que-es-un-sensor-lidar-como-funciona/>
- VisualProMedia. (2022). Topografía con lidar ecuador archivos. Alquiler Dron - Video y Fotografía con Dron - Servicios Audiovisuales - Ecuador; visualpromedia. <https://www.visualpromedia.com/tag/topografia-con-lidar-ecuador/>
- WINGTRA. (2021). Topografía con un dron: ¿Cómo benefician los Drons a los topógrafos y profesionales de SIG? | Wingtra.
<https://wingtra.com/es/topografia-sig/>

ANEXOS

ANEXO I. “Reglamento de operación de Aeronaves Pilotada
a Distancia (RPAs)”

DIRECCIÓN GENERAL
DE AVIACIÓN CIVIL



Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Quito, D.M., 04 de noviembre de 2020

DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL

CONSIDERANDO

Que, la Constitución de la República en el artículo 226 consagra el principio de legalidad o de habilitación legal previa, por el cual: *“Las instituciones del Estado, sus organismos, dependencias, las servidoras o servidores públicos y las personas que actúen en virtud de una potestad estatal ejercerán solamente las competencias y facultades que les sean atribuidas en la Constitución y la ley. [...]”*;

Que, la Constitución de la República en el artículo 394 establece que: *“El Estado garantizará la libertad de transporte [...], aéreo, [...] dentro del territorio nacional, sin privilegios de ninguna naturaleza”*;

Que, la Ley de Aviación Civil en el artículo 5 establece que la *“Dirección General de Aviación Civil es una entidad autónoma de derecho público, con personería jurídica y fondos propios, con sede en el Distrito Metropolitano de Quito”*, y que *“El Director General de Aviación Civil, es la máxima autoridad de la Entidad y será designado por el Presidente de la República, de una terna propuesta por el Consejo Nacional de Aviación Civil”*;

Que, el señor Presidente Constitucional de la República del Ecuador, mediante Decreto Nro. 728 de 29 de abril de 2019, designó al señor Anyelo Patricio Acosta Arroyo como Director General de Aviación Civil;

Que, la Dirección General de Aviación Civil con Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, aprobó el nuevo Reglamento que norma la **“Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)”**;

Que, el Comité de Normas, en reunión efectuada el 28 de septiembre de 2020, creó un grupo de trabajo, para la revisión de la Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, que trata sobre Reglamento para la **“Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)”**, a fin de adecuarlo a las necesidades que implica esta materia y se revise la carga regulatoria establecida, y con Memorando Nro. DGAC-SGAC-2020-0559-M 29 de septiembre de 2020, designó y se conformó el grupo de trabajo para tal efecto;

Que, el grupo de trabajo luego del análisis respectivo, remite al Comité de Normas mediante memorando Nro. DGAC-OGOP-2020-0659-M de 05 de octubre de 2020, su informe con el que considera algunas modificaciones al Reglamento de RPAs y recomienda que *“[...] todos los Apéndices sean retirados del Reglamento por ser éstos, procedimientos propios de cada Gestión para el cumplimiento de la norma, y pueden ser*

DIRECCIÓN GENERAL
DE AVIACIÓN CIVIL



Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Quito, D.M., 04 de noviembre de 2020

incluidos en los manuales y/o procedimientos de cada área, señalando además, que éstos deben ser revisados a fin de que se ajusten al nuevo proyecto de reglamento que se pone a su consideración”;

Que, el Comité de Normas en reunión efectuada el 13 de octubre de 2020, tomó conocimiento del informe presentado por el grupo de trabajo y luego del análisis respectivo, aprobó los cambios propuestos, dentro de ellos se eliminó el literal (f) del artículo 18, y se acogió la recomendación realizada por el grupo de trabajo por lo que en consenso resolvió recomendar al Director General aprobar la **modificación** al Reglamento para la **“Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)”**, la misma que entrará en vigencia a partir de la legalización de la Resolución que se emita, sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial, y mantener el plazo de 3 meses para la socialización e implementación de dicho Reglamento;

Que, el Comité de Normas en reunión efectuada el 23 de octubre de 2020, tomó conocimiento y analizó las observaciones emitidas por el Director General de Aviación Civil respecto de la propuesta de reglamento modificado, y luego del análisis respectivo el Comité resolvió acoger parcialmente las modificaciones planteadas, y por consiguiente recomendar al Director General aprobar la inclusión de varias de las modificaciones propuestas, las mismas que entrarán en vigencia y su socialización conforme se establece en el considerando anterior;

Que, el señor Subdirector General de Aviación Civil en su calidad de Presidente del Comité de Normas emitió su informe recomendando la aprobación de las modificaciones emitidas por el Director General y que concordaron con el criterio técnico de los miembros del Comité de Normas;

Que, el artículo 6, numeral 3, literal a) de la Ley de Aviación Civil, publicada en el Registro Oficial No. S-435 del 11 de enero del 2007, determina las atribuciones y obligaciones del Director General de Aviación Civil entre ellas: *“Dictar, reformar, derogar regulaciones técnicas, órdenes, reglamentos internos y disposiciones complementarias de la Aviación Civil, de conformidad con la presente Ley, el Código Aeronáutico, el Convenio sobre Aviación Civil Internacional y las que sean necesarias para la seguridad de vuelo, y la protección de la seguridad del transporte aéreo”*; y,

En uso de sus facultades legales y reglamentarias,

RESUELVE

Artículo Primero.- Aprobar la modificación al Reglamento que norma la **“Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)”** que fue aprobado con Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, conforme el Reglamento

DIRECCIÓN GENERAL
DE AVIACIÓN CIVIL



Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Quito, D.M., 04 de noviembre de 2020

modificado que forma parte integrante de esta Resolución.

Artículo Segundo.- Mantener el plazo de 3 meses establecido en el artículo 3 de la Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R de 30 de agosto de 2020, para la socialización e implementación del Reglamento que norma la "Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)" modificado conforme la presente resolución.

Artículo Tercero.- Durante el plazo referido en el artículo anterior, las direcciones administrativas involucradas en esta reglamentación, deberán elaborar o adecuar los formatos relacionados con las solicitudes, formularios, autorizaciones, y demás documentos.

Artículo Cuarto.- Encárguese a la Subdirección General de Aviación Civil la ejecución, control y aplicación de la presente Resolución.

Artículo Quinto.- La presente Resolución entrará en vigencia a partir de su suscripción, sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA

Única.- Los trámites administrativos que se encuentren en desarrollo ante la Dirección General de Aviación Civil bajo la Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0074-R, deberán sustanciarse hasta su conclusión de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Reglamento aprobado en esta Resolución.

Comuníquese y publíquese. - Dada en la Dirección General de Aviación Civil en Quito Distrito Metropolitano.

Documento firmado electrónicamente

Pto. Anyelo Patricio Acosta Arroyo
DIRECTOR GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL

Anexos:
- 3_proyecto_reglamento_rpas_final.pdf

Copia:
Señor Abogado
Telmo Italo Aguila Barragan
Abogado 2
Señora

DIRECCIÓN GENERAL
DE AVIACIÓN CIVIL



Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Quito, D.M., 04 de noviembre de 2020

Luz Marina Estrella Silva
Secretaria

Señora
Luz Marina Palacios Zamba
Asistente de Abogacía

Señor Técnico
Santiago Remigio Alegria Chico
Inspector Despachador de Vuelo 2

sa/mv/gp/mj

ANEXO II. "PLANOS GENERADOS EN REVIT"



CUADRO DE ÁREAS		
DETALLE	UNIDAD	VALOR
EDIFICIO 10	M2	980,5519
ALREDEDORES	M2	4713,4754
SUPERFICIE TOTAL	M2	5694,0273



LOCALIZACIÓN
 Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:
 Jonathan Alexander Cervantes Villacís

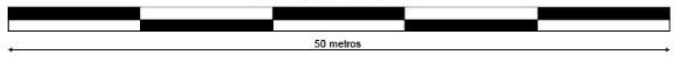
CONTIENE:
 Planimetría General & topografía del Edificio 10 de la EPN y sus alrededores

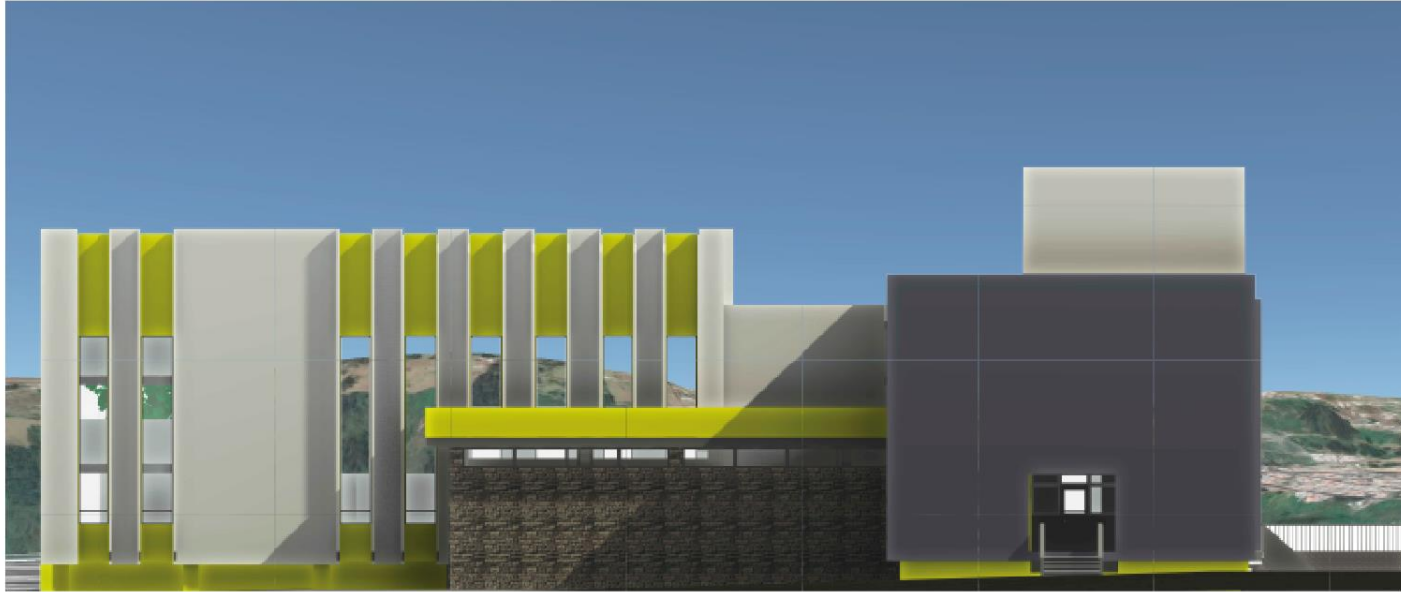
ESCALA: 1:200	TAMAÑO DE IMPRESIÓN: A1	NÚMERO DE LÁMINA 1
------------------	----------------------------	------------------------------

FECHA:
 ENERO 2023

PLANIMETRÍA GENERAL Y TOPOGRAFÍA

ESCALA 1:200





VISTA DE FACHADA FRONTAL

ESCALA S/N



VISTA DE FACHADA DERECHA

ESCALA S/N



LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

VISTAS LATERALES DERECHA Y
FRONTAL DEL EDIFICIO 10

ESCALA:

S/N

TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:

A1

NÚMERO DE
LÁMINA

2

FECHA:

ENERO 2023



VISTA DE FACHADA POSTERIOR

ESCALA S/N



VISTA DE FACHADA IZQUIERDA

ESCALA S/N



LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

VISTAS LATERALES POSTERIOR
E IZQUIERDA DEL EDIFICIO 10

ESCALA:
S/N

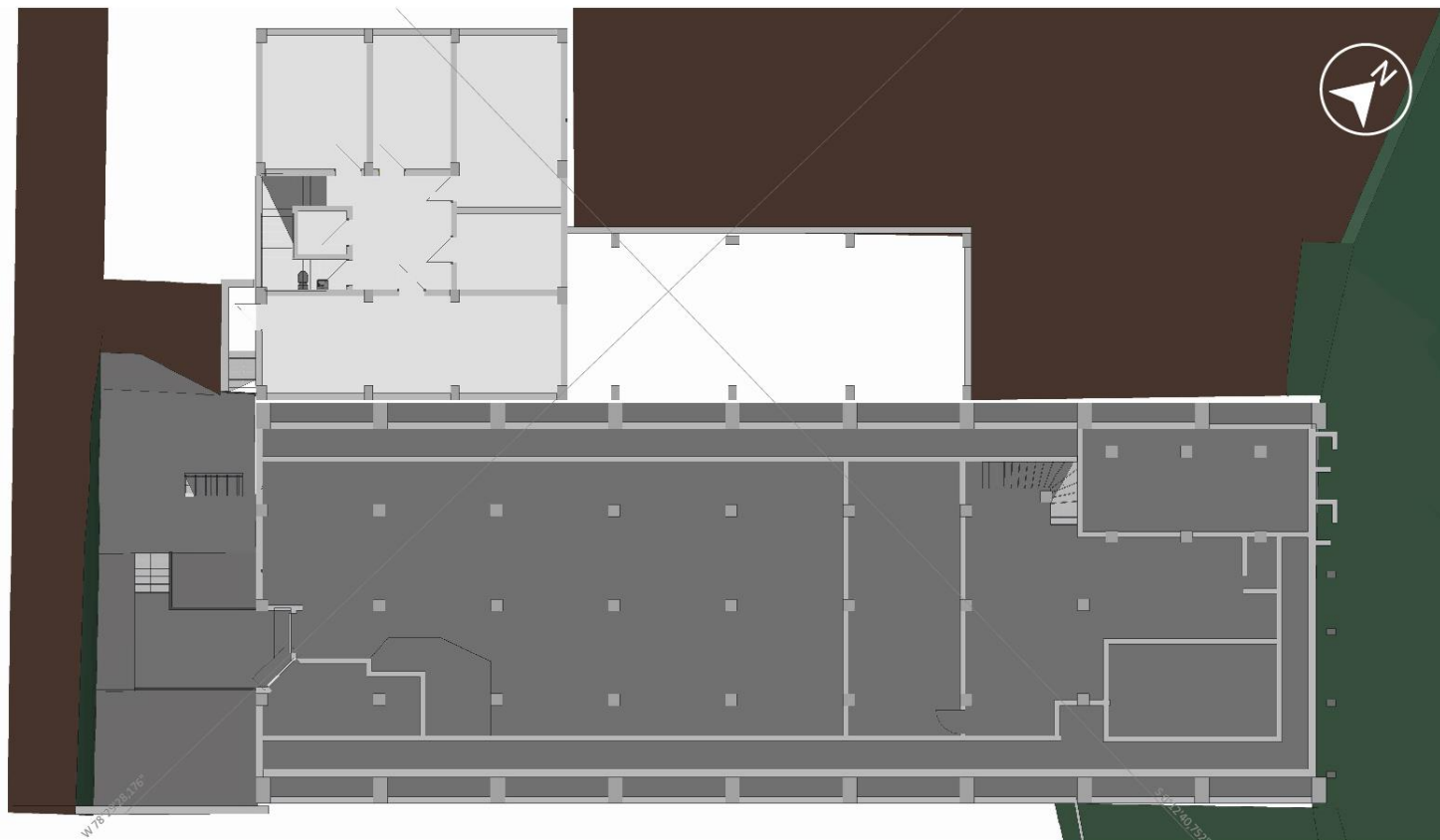
TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:
A1

NÚMERO DE
LÁMINA

3

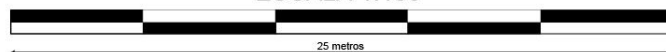
FECHA:

ENERO 2023



VISTA EN PLANTA NIVEL SUBSUELO N-3,00

ESCALA 1:100



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vista en planta nivel subsuelo +3,00
del Edificio 10 de la EPN

ESCALA:

1:100

TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:

A1

NÚMERO DE
LÁMINA

4

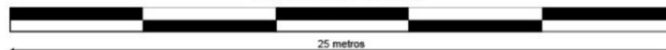
FECHA:

ENERO 2023



VISTA EN PLANTA NIVEL PB N+0,00

ESCALA 1:100



LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vista en planta nivel PB+0,00
del Edificio 10 de la EPN

ESCALA:

1:100

TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:

A1

NÚMERO DE
LÁMINA

5

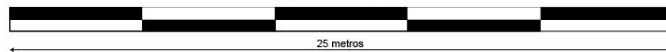
FECHA:

ENERO 2023



VISTA EN PLANTA NIVEL PRIMER PISO N+2,95

ESCALA 1:100



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vista en planta nivel primer piso N+2,95
del Edificio 10 de la EPN

ESCALA:

1:100

TAMAÑO DE

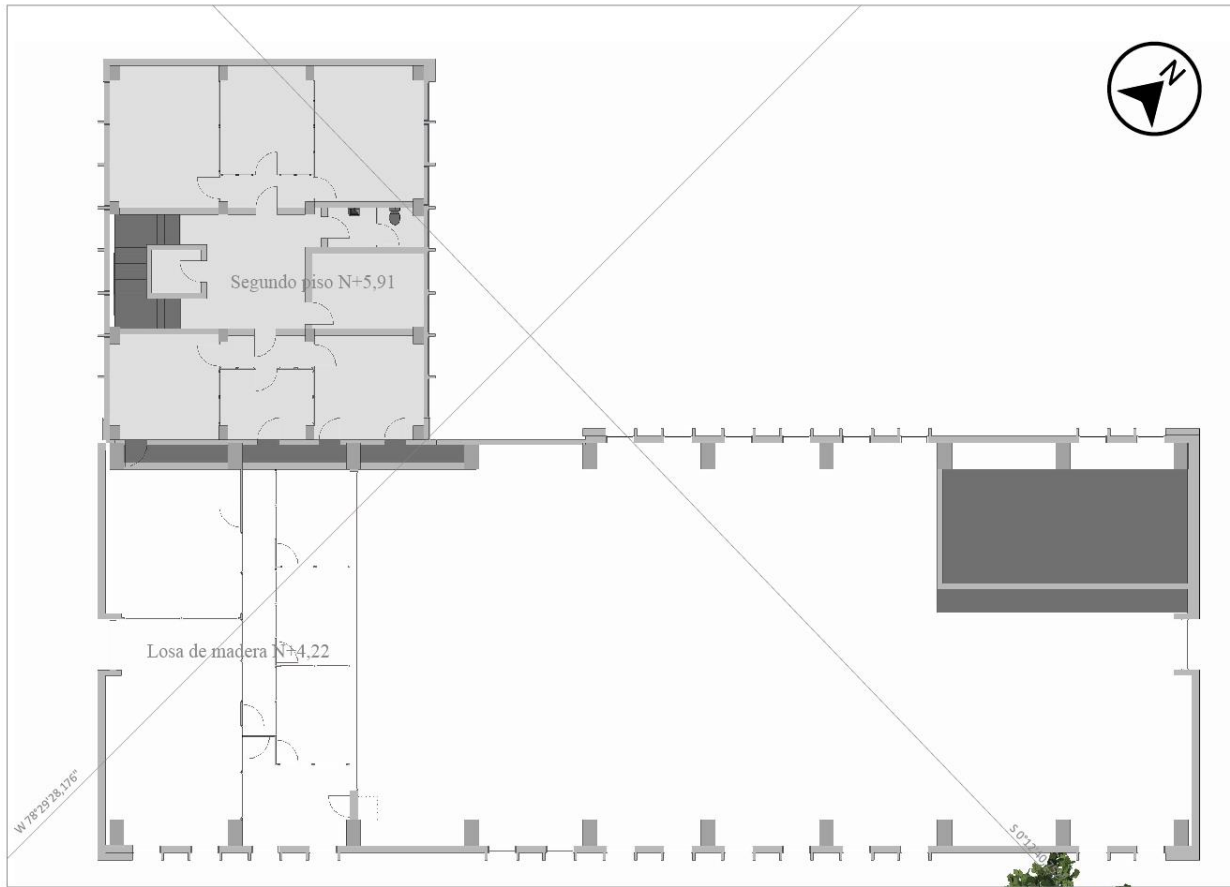
IMPRESIÓN:
A1

NÚMERO DE
LÁMINA

6

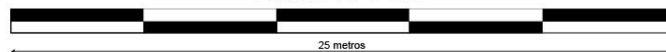
FECHA:

ENERO 2023



VISTA EN PLANTA NIVEL SEGUNDO PISO N+5,91 & LOSA DE MADERA N+4,22

ESCALA 1:100



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vista en planta del nivel segundo piso N+5,91
y losa de madera N+4,22 del Edificio 10
de la EPN

ESCALA:

1:100

**TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:**

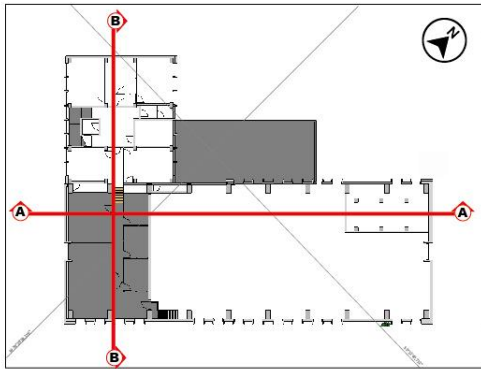
A1

**NÚMERO DE
LÁMINA**

7

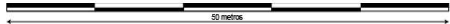
FECHA:

ENERO 2023



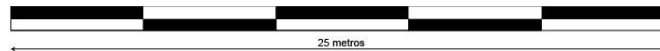
VISTA EN PLANTA DE SECCIONES

ESCALA 1:300



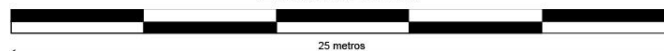
CORTE SECCIÓN B-B

ESCALA 1:100



CORTE SECCIÓN A-A

ESCALA 1:100



LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vista en planta del nivel segundo piso N+5,91
y losa de madera N+4,22 del Edificio 10
de la EPN

ESCALA:

VER EN PLANO

TAMAÑO DE IMPRESIÓN:

A1

NÚMERO DE LÁMINA

8

FECHA:

ENERO 2023



VISTA 3D DE CÁMARA ARQUITECTÓNICA 1
ESCALA S/N



VISTA 3D DE CÁMARA ARQUITECTÓNICA 2
ESCALA S/N



VISTA 3D DE CÁMARA ARQUITECTÓNICA 3
ESCALA S/N



VISTA 3D DE CÁMARA ARQUITECTÓNICA 4
ESCALA S/N



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vistas 3D tipo cámara del
Edificio 10 de la EPN

ESCALA:
VER EN PLANO

TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:
A1

NÚMERO DE
LÁMINA

FECHA:
ENERO 2023

9



VISTA 3D ARQUITECTÓNICA 1
ESCALA S/N



VISTA 3D ARQUITECTÓNICA 2
ESCALA S/N



VISTA 3D ARQUITECTÓNICA 3
ESCALA S/N



VISTA 3D ARQUITECTÓNICA 4
ESCALA S/N



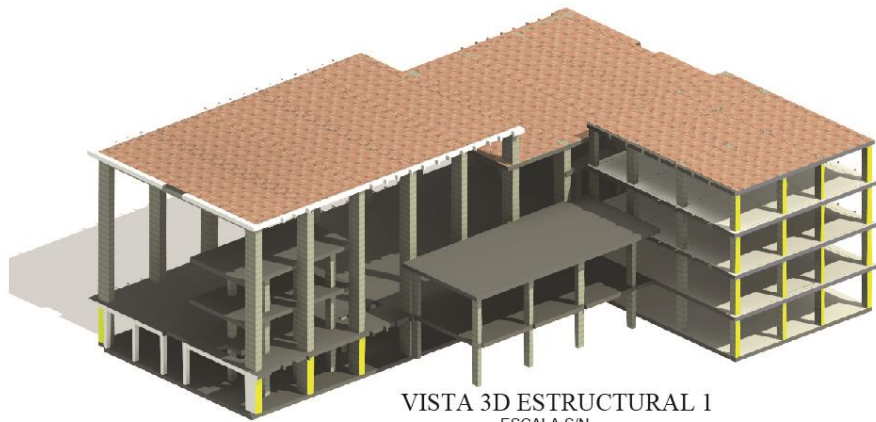
LOCALIZACIÓN
Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



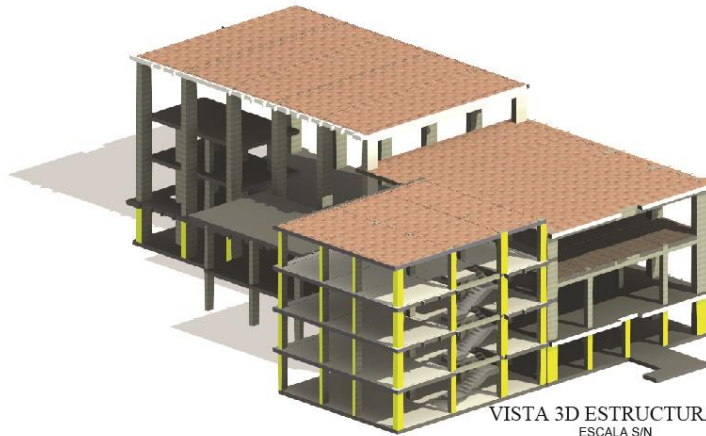
REALIZADO POR:
Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:
Vistas 3D arquitectónicas del Edificio 10 de la EPN

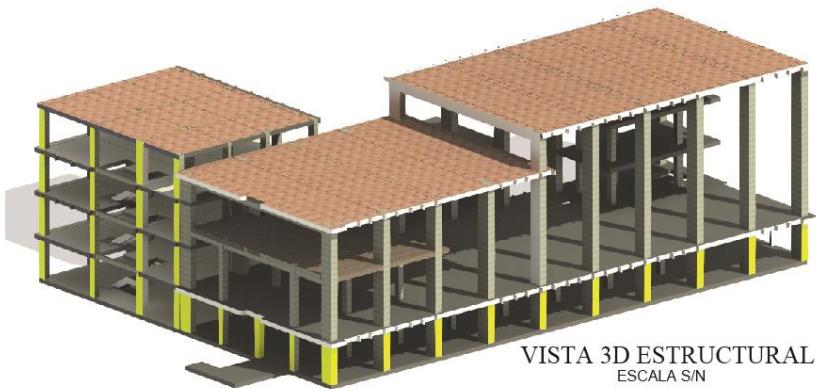
ESCALA: VER EN PLANO	TAMAÑO DE IMPRESIÓN: A1	NÚMERO DE LÁMINA 10
FECHA: ENERO 2023		



VISTA 3D ESTRUCTURAL 1
ESCALA S/N



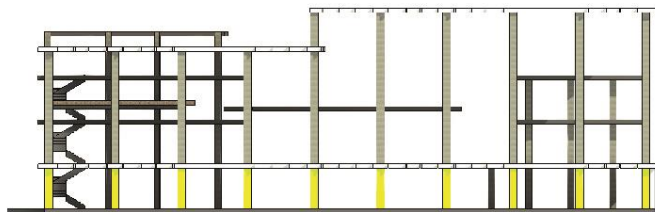
VISTA 3D ESTRUCTURAL 2
ESCALA S/N



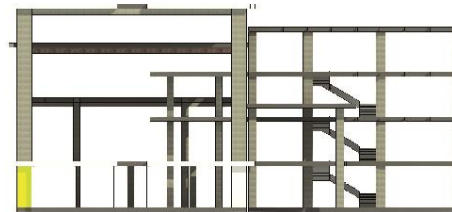
VISTA 3D ESTRUCTURAL 3
ESCALA S/N



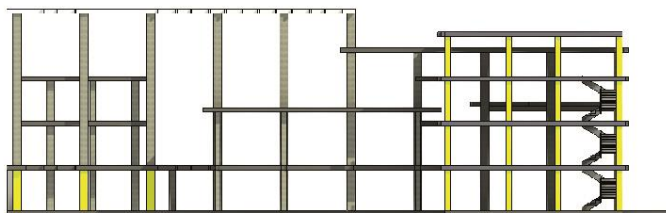
VISTA 3D ESTRUCTURAL 4
ESCALA S/N



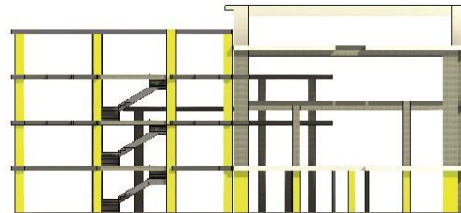
VISTA POSTERIOR ESTRUCTURAL
ESCALA S/N



VISTA IZQUIERDA ESTRUCTURAL
ESCALA S/N



VISTA FRONTAL ESTRUCTURAL
ESCALA S/N



VISTA DERECHA ESTRUCTURAL
ESCALA S/N



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

ESSENTIA HOMINIS SALUS

LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Vistas 3D y fachadas del sistema estructural
del Edificio 10 de la EPN

ESCALA:
VER EN PLANO

TAMAÑO DE
IMPRESIÓN:
A1

NÚMERO DE
LÁMINA

11

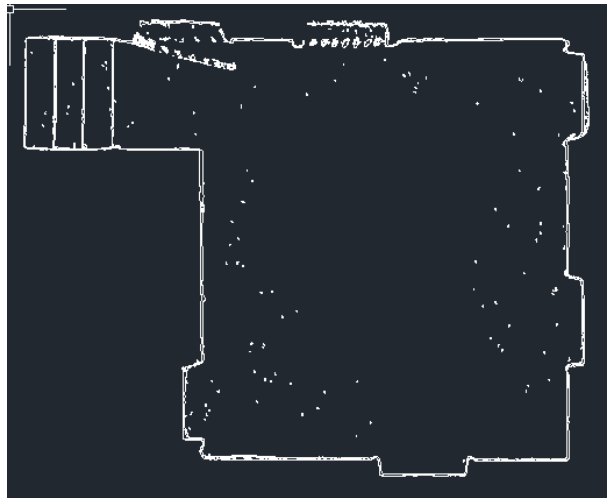
FECHA:

ENERO 2023

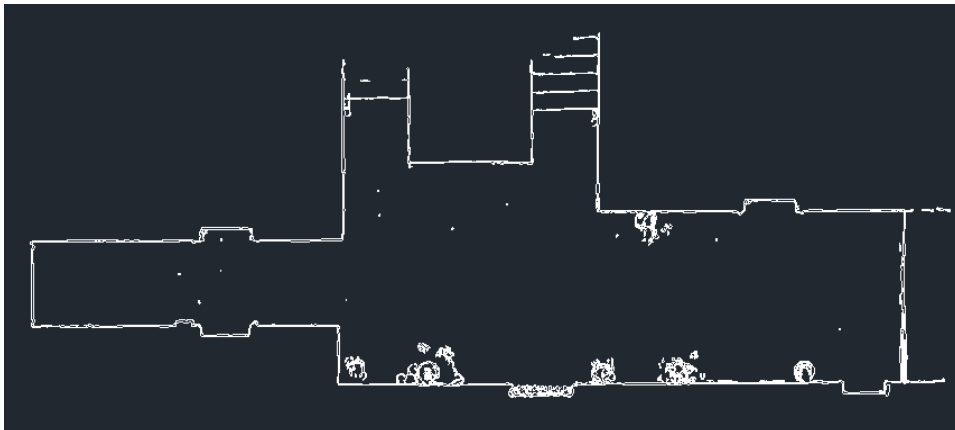
ANEXO III. "ESTACIÓN PERMANENTE DEL IGM"

ANEXO IV. "RESULTADOS DE ESCANEOS CON LiDAR"

PASILLO SUBSUELO BLOQUE OFICINAS



OFICINAS PLANTA BAJA BLOQUE DE OFICINAS



OFICINAS PLANTA BAJA BLOQUE DE OFICINAS



OFICINAS Y PASILLO DEL PRIMER PISO DEL BLOQUE DE OFICINAS



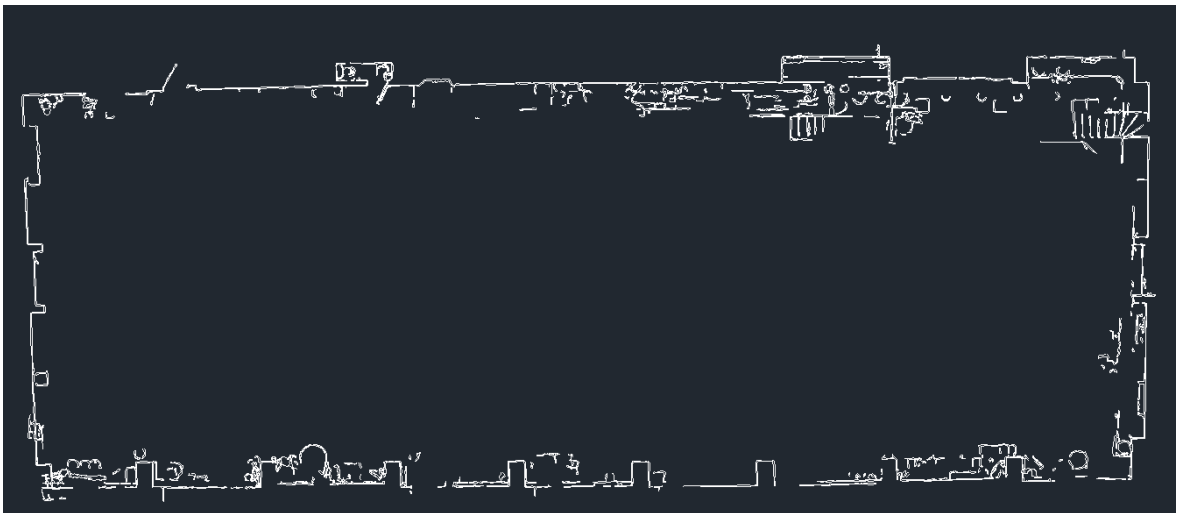
OFICINAS DE LA IZQUIERDA DEL PRIMER PISO DEL BLOQUE DE OFICINAS



SUBSUELO DE BLOQUE DE LABORATORIO



PLANTA BAJA BLOQUE DE LABORATORIO



PRIMER PISO PASILLO DEL BLOQUE DE LABORATORIO



ANEXO V “Tablas de planificación de cantidades de materiales de
Revit”

<Tabla de planificación de columnas		
A	B	C
Tipo	Volumen	Recuento
350 x 250	0.95 m ³	4
350 X 500	10.15 m ³	5
350 X 550	17.34 m ³	12
400 X 550	10.20 m ³	4
400 X 650	9.26 m ³	3
450 x 450	27.24 m ³	30
550 x 1000	128.63 m ³	20
Total general: 203.77 m ³ 78		

<Tabla de planificación de losas y contrapiso>				
A	B	C	D	E
Tipo	Nivel	Recuento	Volumen	Área
Genérico 300 mm	ED10 NL9	2	240.76 m ³	603 m ²
Genérico 300 mm	ED 10 NL1	2	269.92 m ³	900 m ²
Genérico 300 mm	ED 10 NL2	4	73.87 m ³	246 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL8	1	34.47 m ³	115 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL7	1	39.51 m ³	132 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL3	3	69.23 m ³	231 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL5	1	89.38 m ³	298 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL4	2	51.91 m ³	173 m ²
Genérico 300 mm	ED10 NL6	2	92.82 m ³	309 m ²
Total general: 18		18	961.87 m ³	3206 m ²

<Tabla de planificación de vigas estructurales>		
A	B	C
Tipo	Volumen	Recuento
200 x 300mm	5.23 m ³	23
300X300	30.46 m ³	191
400 x 600mm	12.55 m ³	13
500 x 700mm	50.54 m ³	11
Total general: 98.79 m ³		238

<Mampostería y divisiones>			
A	B	C	D
Tipo	Área m2	Longitud m	Volumen m3
DIVISIONES 5 CM MADERA	125.97 m ²	90.10 m	5.30 m ³
MURO MALLA	21.56 m ²	8.19 m	0.21 m ³
PARED 10 cm BLANCA	491.12 m ²	178.70 m	50.06 m ³
PARED 20 cm BLANCA	1236.61 m ²	421.27 m	249.64 m ³
PARED 25 cm BLANCA	1450.29 m ²	372.88 m	362.53 m ³
PARED 30 cm BLANCA	323.79 m ²	95.52 m	97.13 m ³
Por defecto - 30 cm	117.38 m ²	13.60 m	35.22 m ³
Total general: 365		3766.73 m ²	1180.26 m 801.09 m ³

<Tabla de planificación de ventanas>				
A	B	C	D	E
Tipo	Recuento	Anchura	Altura	ÁREA
36" x 48"	1	12.00	1.90	22.80 m ²
VENTA BLO OF SUB	2	4.20	0.40	3.36 m ²
VENTA BLO OF SUB 1.00	1	1.00	0.40	0.40 m ²
VENTA BLO OF SUB 2 2.00	2	3.00	0.40	2.40 m ²
VENTA BLO OF SUB 2 3.00	1	3.00	0.40	1.20 m ²
VENTA ENTRADA PRINCIPAL	1	2.90	0.40	1.16 m ²
VENTANA CARPINTERIA 5	1	5.00	0.70	3.50 m ²
VENTANA CARPINTERIA 7 M	2	7.00	0.70	9.80 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 1.2	4	1.20	1.70	8.16 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 1.3	2	1.30	1.70	4.42 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 2	3	2.00	1.70	10.20 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 2.6	6	2.60	1.90	29.64 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 3.2	2	3.10	1.90	11.78 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 3.4	3	3.45	1.70	17.60 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 3.5	1	3.50	1.90	6.65 m ²
VENTANA DE DIVISIONES 4.3	1	4.30	1.90	8.17 m ²
VENTANA FACHADA ESTE LABORATORIO T2	18	1.05	6.40	120.96 m ²
VENTANA FACHADA LABORATORIO ENC GARP	4	1.05	3.27	13.73 m ²
VENTANA FACHADA NORTE SB	13	1.47	0.80	15.29 m ²
VENTANA FACHADA SUR LABORATORIO	3	1.90	6.40	36.48 m ²
VENTANA FACHADA SUR TERCER PISO 1,47	25	1.47	2.45	90.04 m ²
VENTANA FACHADA SUR TERCER PISO 1,50	6	1.50	2.45	22.05 m ²
VENTANA SUBSUELO OFC BLOQ	1	4.40	0.40	1.76 m ²
VENTANAS DE ENTRADA PRINCIPAL	2	0.96	1.00	1.92 m ²
Total general: 105		105		443.46 m ²

<Tabla de planificación de puertas>				
A	B	C	D	E
Tipo	Recuento	Altura	Anchura	Área de puertas
0.73m x 2.10m	1	2.10	1.00	2.10 m ²
0.93m x 2.10m	7	2.10	0.93	13.67 m ²
3'-0" x 7'-0" Metal_5.75" x 4" _	1	2.13	0.80	1.71 m ²
8' x 6'-6"	2	1.98	1.50	5.94 m ²
650 x 2110mm 2	1	2.11	0.60	1.27 m ²
810 x 2110mm	50	2.11	0.81	85.46 m ²
910 x 2110mm	1	2.11	0.91	1.92 m ²
PUEERTAS PEQUEÑAS	4	1.30	0.81	4.21 m ²
Total general: 67		67		116.27 m ²



LOCALIZACIÓN

Av. Ladrón de Guevara & Bilbao ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus "José Rubén Orellana Ricaurte", Edificio 10



REALIZADO POR:

Jonathan Alexander Cervantes Villacís

CONTIENE:

Tablas de planificación y cantidad de materiales de Revit del Edificio 10 de la EPN

ESCALA:

VER EN PLANO

TAMAÑO DE IMPRESIÓN:

A1

NÚMERO DE LÁMINA

12

FECHA:

ENERO 2023