



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES**

**Pablo Roberto Martínez García**

Asesorado por el Ing. Julio Roberto Martínez Figueroa

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**PABLO ROBERTO MARTÍNEZ GARCÍA**

ASESORADO POR EL ING. JULIO ROBERTO MARTÍNEZ FIGUEROA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTINVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 2 de noviembre de 2016.



**Pablo Roberto Martínez García**

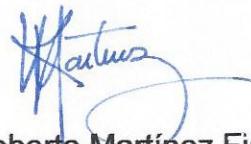
Guatemala 30 de enero del 2018

Ingeniero  
Mario Estuardo Arriola Ávila  
Jefe del Área de Topografía y Transporte  
Escuela de Ingeniería Civil,  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguido Ingeniero,

Por medio de la presente le comunico que yo, Julio Roberto Martínez Figueroa, Ingeniero civil, he sido asesor del trabajo de graduación titulado: **“UTILIZACION DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACION DE UNA MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACION DE SUPERFICIES”**, realizado por el estudiante, Pablo Roberto Martínez García, con carné No. 200610972. Dicho trabajo ya ha sido revisado y corregido por mi persona.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente,



Ingeniero Julio Roberto Martínez Figueroa  
Colegiado No.2174

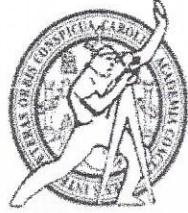
ING. JULIO R. MARTINEZ FIGUEROA  
INGENIERO CIVIL  
Colegio No. 2174



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

## ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 13 de Abril de 2018

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación “**UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES**” desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pablo Roberto Martínez García, con CUI 1699 41086 0101 y registro académico No. 200610972, quien contó con la asesoría del Ing. Julio Roberto Martínez Figueroa.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

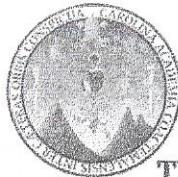
Ing. Mario Estuardo Arriola Avila  
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
TRANSPORTES  
USAC



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Roberto Martínez Figueroa y Coordinador del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Pablo Roberto Martínez García UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

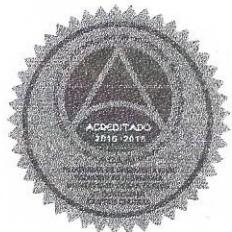


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, mayo 2018

/mmm.

*Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua*





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **UTILIZACIÓN DEL GNSS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA EN TRABAJOS DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Roberto Martínez García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, mayo de 2018

/cc

## ACTO QUE DEDICO A:

<b>Dios</b>	Por guiarme en toda mi vida y permitirme compartir este logro con mis seres queridos.
<b>Mis padres</b>	Por su amor y apoyo incondicional, los sacrificios que han hecho, sus consejos y comprensión en cada instante de mi vida.
<b>Mi hermana</b>	Por su apoyo en todo momento.
<b>Mi novia</b>	Por apoyarme, aconsejarme y demostrarme su amor en todo momento de este logro.
<b>Familiares y amigos</b>	Por su aprecio, amistad y apoyo en todo momento.

## AGRADECIMIENTOS A:

- Ing. Julio Roberto Martínez Figueroa** Por su amor, asesoría, ayuda y consejos para la realización de este trabajo de graduación.
- Mis compañeros de estudio** Por su colaboración y haber compartido una gran experiencia durante la carrera universitaria.
- Facultad de Ingeniería** Por haberme brindado una preciada oportunidad para realizar mis estudios y obtener una distinguida formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. MARCO HISTÓRICO .....	1
1.1. Generalidades sobre la medición con tecnología satelital .....	1
1.2. Reseña de la automatización civil .....	3
1.3. Avances tecnológicos sobre tecnología satelital .....	5
1.4. Método tradicional de nivelería de superficies .....	6
2. TIPOS O MÉTODOS DE NIVELACIÓN .....	9
2.1. Nivelación geométrica .....	9
2.2. Nivelación simple .....	10
2.3. Nivelación compuesta .....	11
2.4. Nivelación indirecta .....	12
3. SISTEMAS DE REFERENCIA .....	15
3.1. Generalidades .....	15
3.2. Sistemas de referencia, marcos de referencia y datum .....	15
3.3. Sistema de marcos de referencia globales .....	17
3.3.1. Proyección WGS – 84 .....	17
3.3.2. Proyección UTM .....	18

4.	AUTOMATIZACIÓN DE MAQUINARIA PESADA.....	21
4.1.	Generalidades .....	21
4.2.	Motoniveladora.....	22
4.3.	Tractor bulldozer .....	25
4.4.	Excavadoras .....	27
5.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y MEDICIÓN SATELITAL UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA .....	29
5.1.	Generalidades .....	29
5.2.	Antenas receptoras GNSS .....	29
5.3.	Estación total.....	31
5.4.	Receptor y transmisor milimétrico láser .....	33
6.	APLICACIÓN GNSS Y TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA .....	35
6.1.	Integración de equipos .....	35
6.2.	Sensores en motoniveladora.....	38
7.	GENERALIDADES SOBRE UNA MOTONIVELADORA AUTOMATIZADA.....	51
7.1.	Niveles de precisión .....	51
7.2.	Aumento de producción .....	52
7.3.	Reducción de costos .....	54
8.	COMPARACIÓN ENTRE MÉTODO DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES TRADICIONAL CONTRA MÉTODO DE NIVELACIÓN AUTOMATIZADO.....	59
8.1.	Generalidades .....	59

8.2. Tabla de producción: horas-máquina trabajadas, personal de trabajo, costo por hora trabajada y materiales trabajados ..	60
9. ANÁLISIS DE SOFTWARE DE POSPROCESO.....	63
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	69
ANEXOS.....	71



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Nivelación geométrica o directa .....	10
2.	Nivelación simple .....	11
3.	Nivelación compuesta .....	12
4.	Nivelación trigonométrica .....	13
5.	Universal Transversa de Mercator .....	19
6.	Cuadrícula para Guatemala UTM zona 15 y 16 .....	19
7.	Tecnología RTK .....	22
8.	Tractor bulldozer .....	27
9.	Excavadora automatizada.....	28
10.	Antena receptora GNSS.....	31
11.	Estación total.....	33
12.	Uso de los transmisores y receptores láser .....	34
13.	Seleccionar superficie para cargarla al sistema Topcon en motoniveladora.....	36
14.	Importar superficie a motoniveladora .....	36
15.	Superficie de diseño en formato.xml .....	37
16.	Seleccionar puntos de control .....	37
17.	Importar puntos de control a motoniveladora .....	38
18.	Sensores dentro de una motoniveladora.....	39
19.	Imagen de GX-60 en motoniveladora.....	40
20.	Botones automáticos para accionar el sistema .....	41
21.	Sensor de pendiente colocado en motoniveladora .....	42
22.	Colocación de sensor de rotación en motoniveladora.....	43

23.	Sensor de rotación con su case colocado .....	43
24.	Sensor principal .....	44
25.	Sistema de válvulas colocado en motoniveladora .....	45
26.	Sensor MCR3 .....	46
27.	Receptor milimétrico con antena GNSS .....	47
28.	Transmisor milimétrico enviando señal a motoniveladora, Aeropuerto Tocumen, Panamá .....	47
29.	Calibración de receptor milimétrico, aeropuerto Tocumen Panamá .....	48
30.	Transmisor milimétrico enviando señal a motoniveladora .....	49
31.	Pantalla en motoniveladora en un trabajo de corte.....	53
32.	Motoniveladora trabajando de noche.....	54
33.	Software Pocket 3D dentro de la motoniveladora Volvo G930 .....	64

## TABLAS

I.	Comparación de los métodos convencional y automático en 400 m de producción .....	55
II.	Integración de costos de un proyecto en un área de 4 800 m <sup>2</sup> en tramo de carretera con método convencional, Bávaro - Miches, República Dominicana .....	56
III.	Integración de costos de una nivelación de superficies en un área de 4 800 m <sup>2</sup> con método automatizado en tramo de carretera, Bávaro - Miches, República Dominicana .....	57
IV.	Informe de producción de control de maquinaria .....	60
V.	Comparación de brigada tradicional contra brigada automatizada en costo por metro cuadrado .....	61

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
\$	Dolar
H	Hora
Min	Minutos
%	Por ciento



## GLOSARIO

<b>Datum</b>	Marco de referencia que se utiliza para definir el tipo de coordenadas.
<b>Estación total</b>	Es un aparato de tecnología eléctrica que se utiliza para la topografía, consiste en la incorporación de un distanciómetro y un procesador a un teodolito.
<b>Geodesia</b>	Ciencia que estudia la medida y la forma del globo terráqueo, acatándose a las necesidades.
<b>Geoposicionamiento</b>	Método mediante el cual se ubican las coordenadas de cada vértice de la red bajo estudio.
<b>Georreferenciación</b>	Conjunto de números que expresan la ubicación de un punto en el espacio euclídeo.
<b>GLONASS</b>	Sus siglas significan <i>global navigation satellite system</i> , y es el sistema de navegación por satélite creado por la Unión Soviética.
<b>GNSS</b>	Es un sistema de navegación por satélite que incluye las constelaciones de satélites GPS y GLONASS.

**GPS**

Sus siglas en inglés significan *global positional system* fue creado por el estado de defensa de Estados Unidos de América.

**Teodolito**

Instrumento de medición que se utiliza para medir ángulos verticales y horizontales.

**TPS**

Sus siglas en inglés significan *transaction processing system*, se refiera a estaciones totales.

**UTM**

Sistema de coordenadas planas (X, Y), su sigla significa *universal transverse mercator*.

**WGS-84**

Sistema de coordenadas planas mundial con el cual se puede localizar cualquier punto.

**Zonas horarias**

Es cada uno de las 24 áreas en las que se divide el planeta.

## RESUMEN

Se mencionarán como los métodos tradicionales de nivelación de superficies son métodos funcionales que se han trabajado a lo largo de la historia y que con la integración de la tecnología satelital han disminuido el tiempo de trabajo sin sacrificar precisión en las mediciones. La implementación de este tipo de tecnologías ha llevado a la automatización de maquinaria pesada por medio de GNSS para la realización de nivelación de superficies.

Una de las máquinas que se puede automatizar por medio de GNSS es la motoniveladora, que con la ayuda de sensores en puntos estratégicos dentro de la motoniveladora: sistema de rotación, sistema de pendiente y sistema de válvulas; con la ayuda de una antena satelital Rover en la cuchilla de la motoniveladora es posible controlar y saber los movimientos de la máquina y utilizar la cuchilla de la máquina de una forma automática para realizar trabajos de corte o de relleno.

Además, se explica el proceso de instalación de los diversos sensores a utilizar para la automatización de una motoniveladora por medio de tecnología satelital; También, como se utilizan los equipos satelitales de topografía para manejar un equipo automatizado, como las diversas ventajas de utilizar este sistema y comparaciones de producción entre métodos automatizados contra este método automatizado.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Describir la utilización de GNSS para integrar la automatización de una motoniveladora en trabajos de nivelación de superficies y movimiento de tierras.

### **Específicos**

1. Establecer las ventajas de los equipos GNSS en el área de topografía.
2. Evaluar las ventajas económicas del sistema de control de maquinaria en una obra civil.
3. Evaluar los diferentes tipos de control de maquinaria y su utilidad en la nivelación de superficies.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala viene desarrollando proyectos de nivelación de superficies con métodos tradicionales. Considerando que estos métodos se vienen utilizando desde los inicios de la nivelación de superficies terrestres se ha evidenciado la necesidad de evolucionar en los métodos constructivos.

En el presente trabajo de graduación se exponen los nuevos métodos de nivelación de precisión con la utilización de la automatización de maquinaria pesada (*machine control*), tecnología que integra los diseños elaborados en el área de gabinete, topografía del terreno, localización del proyecto y sensores de alta precisión.

Diversos países en el mundo hoy en día se benefician de las virtudes de utilizar la automatización de maquinaria pesada. Es un proceso que utiliza diversas tecnologías y dependiendo del proyecto puede trabajar por posicionamiento tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones. Estas tecnologías pueden trabajar con nivel láser, estaciones totales y (GNSS) *global navigation satellite system*.

En la actualidad se encuentra la tecnología (GPS) *gobal positioning system*, en una gran cantidad de dispositivos que van desde automóviles, celulares, barcos, aviones y computadoras. Con el avance hacia el GNSS es posible llevar esta tecnología hacia la nivelación de superficies. GNSS es la tecnología capaz de unificar más de un sistema satelital obteniendo la precisión de diseño para la nivelación de una superficie.

Dentro de la maquinaria pesada, la motoniveladora tiene como función principal nivelar las distintas capas de material que se encuentren en el proyecto, lo que le permite intervenir en todas las etapas del trabajo de nivelación. Es una máquina utilizada en la nivelación de caminos, carreteras, autopistas, construcción de vías férreas, aeropuertos y agricultura. Por todas estas aplicaciones nació la necesidad de automatizar la motoniveladora con el fin de controlar los niveles de material, aumentar la producción y precisión, reducir los costos y disminuir el riesgo laboral.

Cuanto más avanzan los procesos en una obra de nivelación de superficies más valor tiene los recursos y con mayor precisión se deben operar las máquinas. Es, por lo tanto, lógico utilizar la tecnología GNSS y la automatización de maquinaria pesada para las distintas fases del proyecto.

## 1. MARCO HISTÓRICO

### 1.1. Generalidades sobre la medición con tecnología satelital

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma, las dimensiones y el campo gravitatorio de la tierra. Mediante a Geodesia y sus técnicas es posible representar cartográficamente territorios muy extensos. Este se realiza mediante una red de vértices geodésicos distribuidos por toda la superficie terrestre de los cuales se determinan sus coordenadas, así como su elevación sobre el nivel del mar con una alta precisión.

La Unión Soviética realizó el primer envío de un satélite artificial al espacio, el cual orbita a una distancia de 576 kilómetros; este satélite se llamó Sputnik 1.

A principios de los años 60, la Agencia Espacial Norteamericana y el Departamento de la Defensa tomaron el interés de desarrollar un sistema para determinar la posición basada en satélites; este sistema se llamó Transit.

El sistema Transit fue constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1 074 kilómetros. Tal configuración constituía una cobertura mundial pero no constante. El Transit trabajaba con dos señales en dos frecuencias para evitar errores debidos a las perturbaciones ionosféricas. El sistema funcionaba debido al efecto Doppler de la señal recibida y su posterior comprobación con tablas y gráficos.

Transit también conocido como NAVSAT (*navy navigation satellite System, NNSS*) era un sistema satelital que fue mostrado al pueblo y utilizado en el año 1967; para 1993 este sistema contaba con 13 satélites de los cuales 7 se mantienen en uso y 6 se mantienen en reservas. Este sistema GNSS fue responsable de permitir una nueva y más precisa determinación de la forma de la tierra”<sup>1</sup>.

A partir de estos sistemas de navegación satelital han surgido muchos nuevos sistemas que han mejorado a los anteriores y corregido variaciones en la medición satelital. Hoy en día el sistema de medición satelital más completo es el sistema GNSS sistema de navegación satelital conocido por sus siglas en inglés. Este sistema transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte de la tierra.

El sistema GNSS no es más que la integración de los sistemas más grandes de navegación satelital: el sistema de posicionamiento global GPS y el sistema orbital mundial de navegación por satélites GLONASS, por sus siglas en inglés. El objetivo de esta integración de sistemas es obtener mejor precisión, ya que mientras más satélites se encuentren dentro del mismo sistema serán más exactas las mediciones y tendrán una mayor confianza sobre la información proporcionada. Este sistema GNSS debe tener el suficiente número de satélites de navegación para que estos puedan garantizar una cobertura global en todo momento; esto también funciona como un plan de contingencia para mantener un servicio de información confiable en caso que un satélite deje de prestar su servicio.

---

<sup>1</sup> AGUILERA UREÑA, María Jesús. *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión.* p. 23.

El GNSS desde sus inicios fue utilizado para una finalidad netamente militar y posteriormente los desarrolladores civiles se han aprovechado de esta tecnología para desarrollar múltiples aplicaciones que facilitan enormemente el desarrollo de actividades comerciales. Este sistema de navegación satelital está tratando de mejorar día con día con una visión de mantener todos los satélites conectados a un mismo sistema para mejorar la precisión de las mediciones realizadas. La tecnología de la navegación satelital está tomando bastante auge dentro del mundo, permitiendo que las aplicaciones de la misma sean variadas y amplias cómo funcionan en la topografía, cartografía, navegación aérea, navegación marítima, mediciones geodésicas, agricultura, construcción, entre otras.

## **1.2. Reseña de la automatización civil**

La tecnología GPS ha llegado en los últimos años a varias industrias como la industria de la agricultura que ha sido una de las que más ha aprovechado los beneficios de esta tecnología como una fuente de ayuda de cultivos que deben cumplir con determinadas áreas o distancias de plantación.

De las distintas aplicaciones del sistema GNSS se encuentra la de la automatización de maquinaria pesada con precisión en motoniveladoras o motoniveladora, *bulldozer* o tractor y en excavadoras. Al igual que en la agricultura cada vez más se utiliza el GPS para el guiado de maquinaria de precisión en obras civiles. Según los tipos de maquinaria se pueden adaptar una o dos antenas receptoras de GPS dentro de la máquina para un correcto guiado; por ejemplo, en una motoniveladora, es posible colocar una antena receptora de GPS o dos sobre los lados de la cuchilla para mantener y conocer una posición deseada.

Este tipo de sistemas utilizado en construcción de obras civiles son de mucha ayuda y representan un significativo ahorro de dinero, ya que el operador de la máquina sabe todo el tiempo lo que debe realizar sin tener que esperar a que una brigada de topografía marque las estacas de corte o de relleno dentro de la obra.

Este sistema se ha ido mejorando en los últimos años para alcanzar una precisión más exacta y utilizarla en todo tipo de maquinaria pesada sin importar las marcas. En los inicios de la automatización se podían lograr hasta 4 o 5 centímetros de precisión; con los avances de la tecnología y la inversión de las empresas de topografía en la automatización se ha podido alcanzar precisiones milimétricas a una velocidad mucho mayor que los métodos tradicionales que permite que, en los proyectos de mayor magnitud, las empresas ejecutoras opten por hacer una inversión en estos sistemas de navegación satelital aplicado a la automatización de maquinaria pesada para sus obras civiles; principalmente, en la construcción de carreteras, aeropuertos, puertos, entre otras obras, para realizar la nivelación de superficies.

Con la utilización del GNSS en la construcción de las obras civiles, es posible trabajar a una mayor velocidad manteniendo las mismas precisiones en todo el proyecto y se permite modificar en tiempo real cualquier cambio de diseño u otro cambio dentro del área de trabajo de la maquinaria.

Existen varias marcas y empresas que se han innovado sobre la automatización en maquinaria pesada para obras civiles como Leica ®, Trimble ®, Topcon ®, entre otras.

### **1.3. Avances tecnológicos sobre tecnología satelital**

Desde la utilización de la navegación satelital o, el uso del GNSS en la construcción civil, se han logrado importantes avances tecnológicos en la automatización de maquinaria pesada en obras civiles. A partir del año 2000 muchas empresas fabricantes de equipos topográficos innovaron en sus productos la aplicación de esta tecnología.

La automatización en la maquinaria pesada por medio de la tecnología de navegación satelital, no es más que instalar componentes y sensores dentro de la máquina para conocer su posición y enviarle información en tiempo real desde la oficina hacia el campo. Esto se logra colocando antenas receptoras de GPS ubicadas en puntos estratégicos dentro de la maquinaria, por ejemplo, dentro de un tractor se instala una antena receptora de GPS sobre la cuchilla que recibe la corrección satelital desde otra antena GPS llamada base y permite conocer exactamente la posición de la cuchilla y los niveles de corte o de relleno que se desea aplicar.

En la actualidad, ha habido logros importantes en la tecnología satelital apoyándose en equipos de topografía como estaciones totales, sistemas lasers, niveles de precisión y antenas receptoras de GPS para mejorar la precisión de los sistemas; lo que hace esto que los grandes desarrolladores de proyectos de gran magnitud se inclinen por esta innovadora tecnología que les permite aumentar la producción de sus trabajos que mantienen los mismos estándares de precisión.

#### **1.4. Método tradicional de nivelación de superficies**

Desde los inicios de la construcción de obras viales o de obras que requieran de una nivelación de plataformas por medio de movimiento de tierras, se han utilizado los métodos tradicionales; sin embargo, aunque estos son efectivos, requieren de mucha atención y de mucho personal para su utilización en este tipo de trabajos. En el caso de una nivelación de superficies, es necesario utilizar maquinaria pesada para el movimiento de tierra, como: excavadoras, tractores, motoniveladoras, rodillos, camión cisterna y camiones de volteo, entre otros. Se requiere de operadores y de ayudantes para todas las máquinas; asimismo, se requiere personal de topografía para la marcación de niveles y colocación de estacas de corte y de relleno. Para este tipo de trabajos que se requiere de mucho personal lo que incrementa el riesgo de algún tipo de accidente, por la cantidad de máquinas que funcionan en un mismo lugar.

La nivelación de superficies a lo largo de los años prácticamente se ha trabajado de la misma manera, de tal forma que con el paso de los años se ha podido innovar con sistemas que ayuden a aumentar la producción de los trabajos y reducir el personal dentro de la zona de trabajo. A continuación, y a manera de ejemplo, se detalla el proceso de nivelación de una superficie con los métodos tradicionales conocido, que hace énfasis en el trabajo de la motoniveladora.

- Replanteo de un diseño geométrico horizontal y vertical (si es en trabajo vial, es necesario replantar la subrasante).
- Verificación de condiciones de drenajes.
- Utilización de cuadrilla de topografía para la colocación de estacas o trompos de subrasante y alineación.
- Colocación de material de capa (pueden ser varios tipos de materiales).

- Chequeo de humedad de los materiales.
- Homogenización, mezclado y conformación de material de capa.
- En el proceso siempre se chequea la humedad de los materiales.
- Compactación previa al material de capa.
- Cuadrilla de topografía para replanteo de trompos o estacas de nivel.
- Proceso de afinamiento del material (uso de motoniveladora).
- Compactación final de material de capa.
- Cuadrilla de topografía para chequeo final de trompos o estacas de nivel y chequeo de las precisiones del proyecto.

Este es un proceso típico para una nivelación de superficies, ya sea para una obra vial o para cualquier tipo de superficie. En la presente tesis se habla solo sobre el método de nivelación de superficies y la ventaja de tener una motoniveladora automatizada; asimismo, resaltar las ventajas de utilizar una tecnología satelital, específicamente, el uso de GNSS para la automatización de maquinaria pesada en trabajos de nivelación de superficies.



## 2. TIPOS O MÉTODOS DE NIVELACIÓN

### 2.1. Nivelación geométrica

Este tipo de nivelación se determina por el desnivel existente entre dos puntos mediante visuales horizontales hacia miras o reglas graduadas (estadales); estas reglas o miras permiten la determinación directa de alturas de diversos puntos, midiendo las distancias verticales con referencia a una superficie de nivel donde la altura de dicha superficie es conocida.

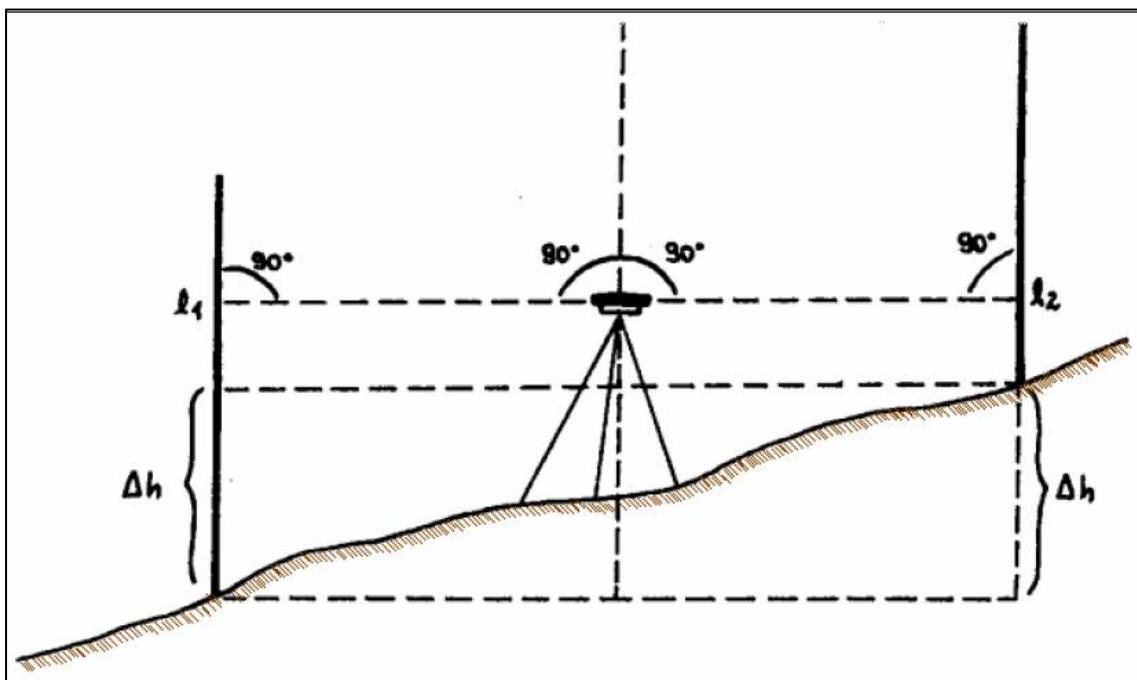
La nivelación geométrica puede ser simple o compuesta; es simple cuando los puntos cuyo desnivel se requiere medir se encuentran próximos; si por lo contrario, se encuentran alejados y es necesario obtener puntos intermedios y hacer cambios de estación, se denomina nivelación compuesta. El desnivel DH existente entre dos puntos 1 y 2 en cualquier parte del terreno se obtiene calculando la diferencia de alturas de los mismos puntos.

$$DH = I_1 - I_2$$

Para la realización de este tipo de nivelación se puede realizar con instrumentos o aparatos ópticos llamados niveles. Existen varios tipos de niveles; en la actualidad ya se cuentan con instrumentos digitales como el nivel digital, que permite ir almacenando la información de los diversos puntos o estaciones dentro de una nivelación simple o compuesta de cualquier terreno o superficie. También, es posible realizar las nivelaciones con estaciones totales o teodolitos que hacen que la altura de horizonte de la visual fuese cero, pero desde el momento que el antejo disponga de un giro, esta horizontalidad no

puede lograrse con la misma precisión que se consigue con un nivel. Los niveles permiten determinar distancias horizontales, ángulos horizontales o acimutales al estar provistos del limbo correspondiente.

Figura 1. Nivelación geométrica o directa



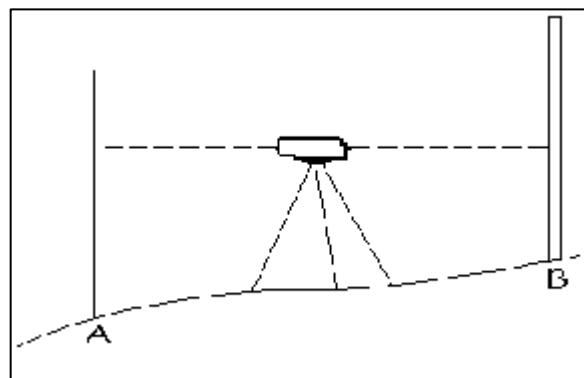
Fuente: FRANQUET, Josep María. *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. p. 56.

## 2.2. Nivelación simple

Se considera una nivelación simple cuando se quiere conocer un desnivel y los puntos de este se encuentran próximos. Este tipo de nivelación se considera una posición instrumental que puede hacerse por el método del punto medio, por el punto extremo, por estaciones reciprocas y por estaciones equidistantes. La nivelación simple longitudinal se puede realizar con un trazo

de puntos que se definen en una línea recta sin necesidad de que los puntos mencionados pasen por esta línea.

Figura 2. **Nivelación simple**

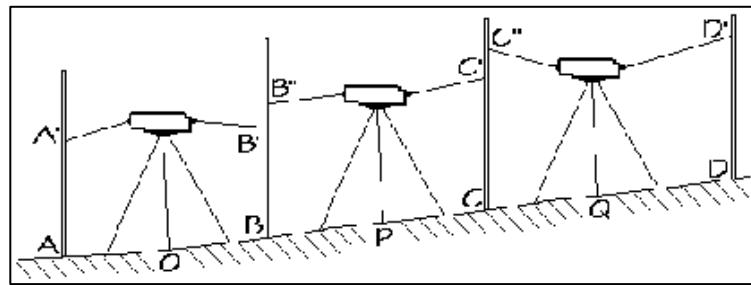


Fuente: FRANQUET, Josep María. *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. p. 62.

### 2.3. **Nivelación compuesta**

Se considera la nivelación compuesta como una serie de nivelaciones simples donde se consideran dos o más posiciones instrumentales para llegar al punto deseado. Esta nivelación es con base en la aplicación de las fórmulas fundamentales de la nivelación geométrica.

Figura 3. **Nivelación compuesta**

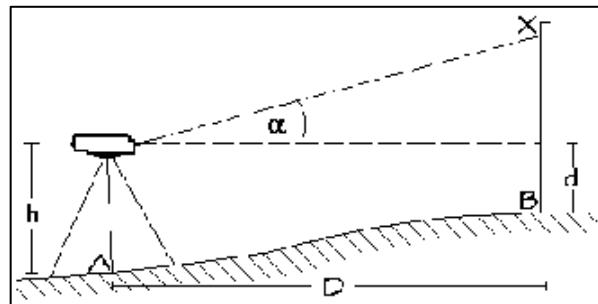


Fuente: FRANQUET, Josep María. *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. p. 72.

#### 2.4. **Nivelación indirecta**

Se conoce también como nivelación trigonométrica, este tipo de nivelación utiliza las propiedades de las funciones trigonométricas para determinar la elevación de un punto con respecto a otro punto y con respecto a un nivel de referencia. En este caso se pueden medir ángulos verticales, los cuales pueden ser senitales (se miden desde la vertical) o verticales (se miden desde la horizontal); las funciones trigonométricas más comunes son las funciones de seno y coseno.

#### Figura 4. Nivelación trigonométrica



Fuente: FRANQUET, Josep María. *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. p. 77.



### **3. SISTEMAS DE REFERENCIA**

#### **3.1. Generalidades**

GNSS está compuesto por varias constelaciones de satélites. Hasta el año 2000, cada uno poseía su propio sistema de referencia, pero con los nuevos avances en los sistemas de posicionamiento con satélites fue evidente que fuera necesaria la utilización de un sistema de referencia global.

En la actualidad, la mayoría de países se encuentran en un constante cambio para actualizar sus sistemas de referencia en los que se basan las técnicas espaciales; la de mayor tendencia a utilizar es un Datum asociado con ITRF por sus siglas en inglés *internal terrestrial reference frame*.

Debido a que los sistemas de posicionamiento mediante satélites son de naturaleza tridimensional, es necesario relacionar y analizar los datums horizontales como los datums verticales, surgiendo así el problema de altimetría, por esto lleva la necesidad del estudio particular de Datums altimétricos para obtener el datum vertical global.

#### **3.2. Sistemas de referencia, marcos de referencia y datum**

Los términos de Datum, sistema de referencia y coordenadas, están muy conectados entre sí; es bastante normal que su uso y significados se intercambie al momento de hablar de georreferenciación, perdiendo cada uno de estos su significado concreto.

Para la mayor parte de los problemas geodésicos, se utiliza la geometría de un espacio euclídeo de una, dos o tres dimensiones en donde todos los ejes de coordenadas tienen un punto en común. Por razones de conveniencia, es preferible que los ejes sean perpendiculares entre sí, definiendo así un sistema de referencia cartesiano. Los sistemas definidos hasta ahora, no son más que conceptos, para hacerlos reales es necesario asignar valores numéricos para las coordenadas de puntos tangibles del terreno y así es como surgen los marcos de referencia. El marco de referencia existe físicamente en el terreno, representando la aplicación de la práctica del sistema de referencia”<sup>2</sup>.

La definición de la información de posición de un punto sobre el terreno estará definida por tres conjuntos de datos:

- El tipo de información de posición, es decir, el sistema de coordenadas.
- El tipo de referencias utilizadas para su determinación, es decir, el marco de referencia al que pertenecen.
- Los valores que definen la posición.

Así mismo, los marcos de referencia se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Marco de referencia tridimensional
- Marco de referencia bidimensional, horizontal o planimétrico
- Marco de referencia unidimensional o altimétrico

Según el tipo de Datum que se utilice, es necesario definir lo siguiente:

---

<sup>2</sup> AGUILERA UREÑA, María Jesús. *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión.* p. 54.

- Elipsoide de referencia
- Meridiano de origen
- Sistema de unidades, lineal y angular
- Modelo de geoide
- Proyección cartográfica

### **3.3. Sistema de marcos de referencia globales**

Se define Datum como el conjunto de parámetros que definen la posición de un elipsoide respecto a la tierra. Para determinarlo es necesario conocer la geometría del elipsoide, su posición respecto al geocentro o sus coordenadas del centro del elipsoide al geocentro, la orientación de los ejes del elipsoide respecto los terrestres y su escala K.

#### **3.3.1. Proyección WGS – 84**

El datum WGS-84 es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la tierra por medio de tres valores dados. WGS-84 son las siglas en inglés de *world geodetic system*, que significa sistema geodésico mundial, que data de 1984 y fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Técnicamente con este sistema se proyectan las coordenadas geodésicas a un sistema de coordenadas cartesianas, llamados típicamente UTM.

El sistema WGS-84 constituye un sistema de referencia geodésico y se construyó a través de observaciones gravitatorias, observaciones a satélites *TRANSIT*, por técnicas Doppler las cuales se basan en la medición del desplazamiento que consiste en la variación aparente en el valor de la

frecuencia en función de la velocidad de acercamiento de la fuente emisora, entre otros.

### **3.3.2. Proyección UTM**

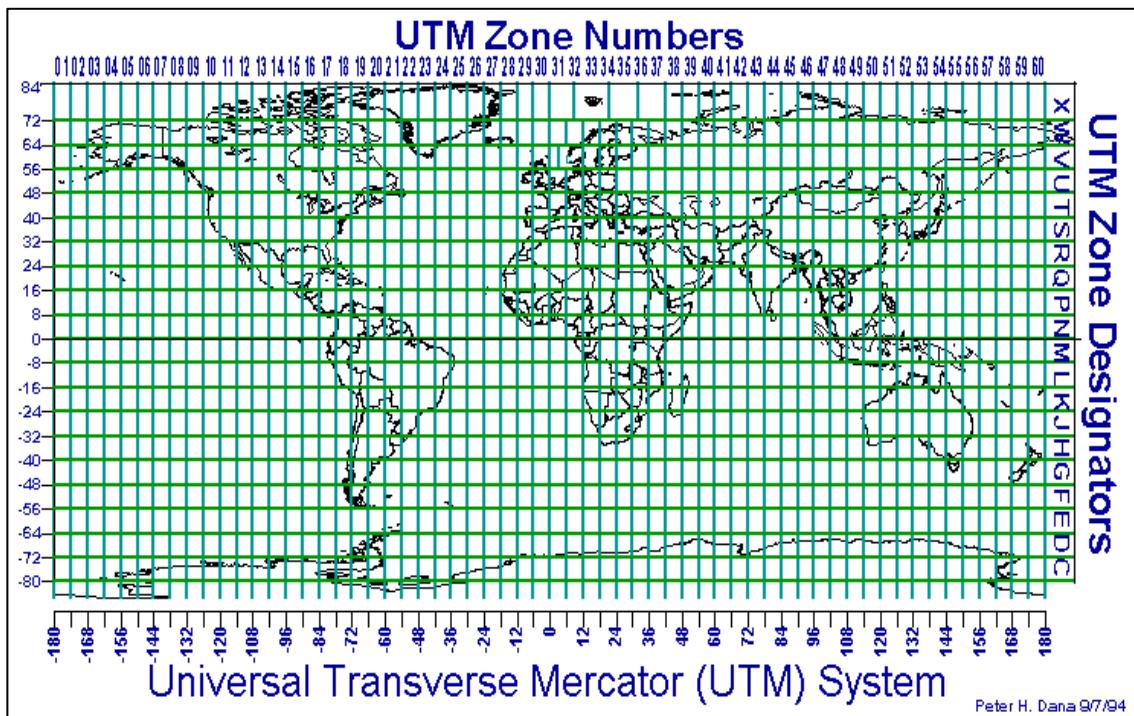
UTM responde a las siglas de Universal Transversa de Mercator, aunque también es llamada proyección Gauss-Krüger, debido a los cartógrafos que la idearon.

Esta proyección está basada en una proyección desarrollable, desarrollada haciendo uso de un cilindro tangente al elipsoide. Se denomina transversa debido a que la tangencia no es realizada sobre un paralelo, como se solía hacer (proyección Mercator), si no sobre uno de los meridianos, siendo ese meridiano la única línea autoeica de dicha proyección.

Al desarrollar esta proyección, se obtiene un sistema de coordenadas formado por la proyección del Ecuador, que forma el eje X y la proyección del meridiano tomado como tangencia, que constituirá el eje Y, formando un sistema de coordenadas cartesianas.

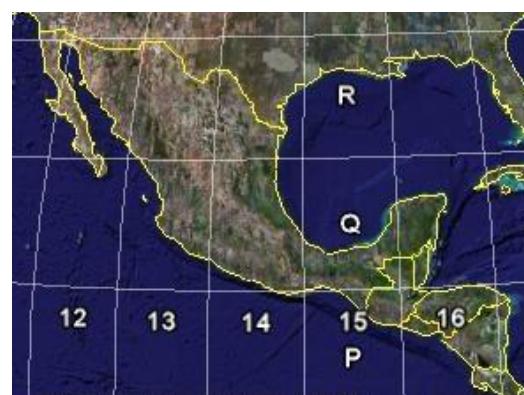
El número de zona se tomará a partir del antemeridiano de Greenwich, en sentido oeste-este, de manera que en Guatemala se obtienen las zonas 15 y 16. Para las ordenadas se toma como eje una recta paralela al meridiano central, 500 km al oeste, evitando las coordenadas negativas, mientras que para las abscisas se utiliza el propio Ecuador.

Figura 5. Universal Transversa de Mercator



Fuente: FRANCO, Antonio R. *Características de las zonas UTM*. p. 43.

Figura 6. Cuadrícula para Guatemala UTM zona 15 y 16



Fuente: FRANCO, Antonio R. *Características de las zonas UTM*. p. 44.



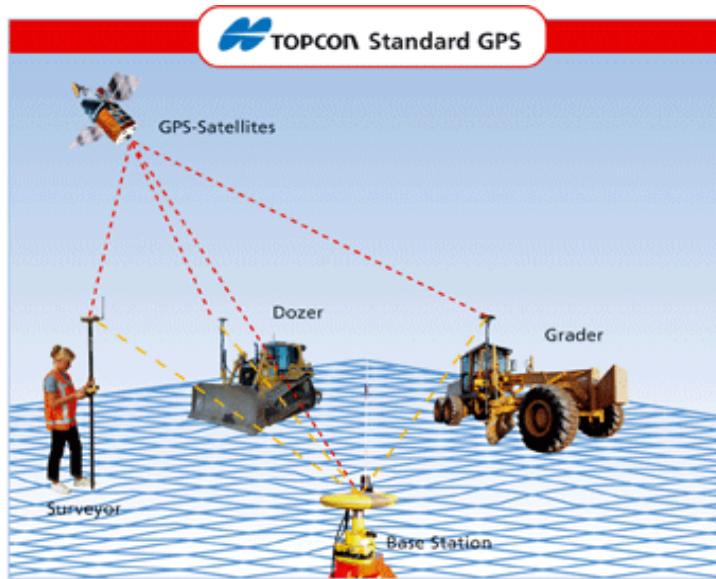
## 4. AUTOMATIZACIÓN DE MAQUINARIA PESADA

### 4.1. Generalidades

Desde los inicios de construcción los trabajos de movimiento de tierras se han realizado por medio de maquinaria pesada, en la gran mayoría de proyectos pequeños, medianos o de gran envergadura, estas máquinas son de mucha utilidad para trabajos como corte de material, relleno de material o nivelación. La alta demanda de trabajo ha obligado a buscar nuevas alternativas para volver más productivos los trabajos de movimiento de tierras, tratando la manera de ser más eficientes sin perder los niveles de precisión que los diseños exigen. Por esta razón, se ha comenzado a utilizar la tecnología satelital para la automatización de maquinaria pesada.

La automatización de maquinaria pesada funciona por medio del sistema RTK (*real time kinematik*) en el cual se utiliza una base satelital con una antena receptora GPS que funciona como base central que transmite correcciones de posición a otra antena receptora ubicada en la máquina que se quiere automatizar, haciendo esto que dicha máquina se comporte como un Rover topográfico. Por medio de sensores ubicados en puntos exactos que se ubican en la máquina, se conoce exactamente la posición de la máquina y de su cuchilla, si fuera una motoniveladora o cuna tractor, o de su cucharón si fuera una excavadora. Posteriormente, se tratarán detalles sobre estos sensores necesarios para el funcionamiento de una máquina automatizada.

Figura 7. **Tecnología RTK**



Fuente: *Tecnología RTK*. [www.topcontotalcare.com](http://www.topcontotalcare.com). Consulta: 12 de julio de 2017.

#### 4.2. Motoniveladora

Este tipo de maquinaria ha sido asociada solamente con las obras viales, en este campo, es una maquinaria muy eficaz por su rapidez y maniobrabilidad, posee una cuchilla que cumple con la tarea de cortar el terreno y de esta manera proceder a nivelarlo. Lo hace por capas o por pasadas, en la que cada pasada significa que el terreno ha perdido cierta cantidad de centímetros hasta llegar al nivel deseado. Esta cuchilla se encuentra ubicada en el centro de la máquina y se comanda por medio de una tornamesa que le otorga inclinación dado en ángulos; la posición de la cuchilla para el corte del terreno es diagonal para dar salida a la tierra que se arrastra, puede acomodarse lateralmente, subir y bajar de acuerdo a la exigencia.

Por aparte, con las funciones de nivelación de superficies, es posible agregar aditamentos que ampliarán el campo de utilización:

- Desgarrador o escarificador, este puede ubicarse en la parte trasera o delantera de la motoniveladora y sirve para desgarrar el suelo en caso que este se encuentre en un estado demasiado compactado.
- Una hoja dozer, que permita a la máquina la función de un bulldozer debido a su potencia de tiro.
- una pala V, la que se utiliza para abrir brechas en lugares muy escarpados.

Para la nivelación de superficies esta maquinaria es de suma importancia debido a que es la encargada de darle el grado al terreno o el nivel deseado por parte del área de diseño. El trabajo de la nivelación final es uno de los trabajos más importantes dentro de una superficie debido a que sobre esta descansará la capa final deseada, con el material deseado; al mismo tiempo, como es la capa final conlleva de mucho cuidado y atención la colocación del material como la compactación final. En la mayoría de las empresas que realizan este tipo de trabajos finos se requiere de diversos equipos y de diverso tipo de personal para realizarlo; esto hace que dentro de un área de trabajo de nivelación final se mantengan o trabajen alrededor de 10 personas y 3 equipos de trabajo, por ejemplo, una cuadrilla de topografía, operadores de maquinaria y camiones, ayudantes para distribuir el material, ayudantes para correr tacos, entre otros.

El trabajo tradicional de una nivelación consiste en que topografía marque con tacos o trompos los niveles que se quieran dejar (dependiendo de los

diseños de gabinete), ya sean de corte o de relleno; en la mayoría de casos, siempre se nivela fino con un relleno por capas, el cual consiste en que camiones lleven material hacia el punto de la nivelación; luego, la motoniveladora realizará el trabajo de mezclado de material para luego nivelar a los niveles puestos por topografía con la ayuda de las personas encargadas de correr los tacos o trompos.

Como se puede observar en la anterior descripción, es necesario que mucho personal esté involucrado en este tipo de trabajo utilizando un tiempo considerable de realización, debido a que depende de muchas personas y procesos; además, es un trabajo muy riesgoso para las personas que realizan el trabajo de verificar los tacos, debido a que se encuentran en una posición donde es imposible que el operador los pueda observar, haciendo esto que pongan su vida en riesgo. Mucha parte del éxito de una nivelación depende netamente de la capacidad y experiencia del operador; un operador inexperto puede llevar a perder una gran cantidad de tiempo y dinero dentro de un proyecto.

La automatización de una motoniveladora no es más que controlar los trabajos y movimientos que realiza la máquina; es decir, por medio de sensores ubicados en partes estratégicas dentro de la máquina y por medio de la tecnología satelital, es posible saber y determinar la posición de la máquina, así como conocer el nivel de la cuchilla.

Por medio de un sistema computarizado dentro de la cabina del operador es posible observar la topografía del terreno actual, así como la topografía del terreno deseado con niveles y cotas reales y finales; esta superficie se puede cargar por medio de un dispositivo usb o se le puede hacer llegar por vía internet; al momento de tener la superficie final dentro del sistema, el operador

podrá hacer funcionar el sistema automatizado, haciendo que la cuchilla de la motoniveladora baje hasta donde le indique el sistema. Más adelante se amplía la explicación de la automatización cuando se mencione cada uno de los componentes necesarios.

#### **4.3. Tractor bulldozer**

El tractor bulldozer es una maquinaria pesada que se utiliza para montar una cuchilla niveladora, escarificadores (*rippers*), malacates, grúas y plumas laterales. Estos tractores se clasifican por medio de la potencia neta del motor, los hay desde los 40 HP hasta más de 500 HP y por su velocidad máxima de translación de 8 a 11 km/h.

El tractor bulldozer puede ser utilizado en diversos trabajos de movimiento de tierras como pueden ser los siguientes:

- Excavación: este es el trabajo más común de este tractor; el corte en terrenos duros, helados, con vegetación y terrenos muy duros pueden ser abiertos con las hojas inclinables y angulables del tractor; cuando los terrenos son aún más duros se puede utilizar un accesorio desgarrador con el fin de obtener un resultado más eficaz y así suavizar el terreno para una mayor rapidez de corte o extracción de material.
- Uniformización: las irregularidades de un terreno trabajado con el tractor en excavaciones pueden volverse uniforme por medio de un trabajo con la hoja del tractor, colocando la hoja en su totalidad en el terreno y hacer movimiento de reversa para no dejar huella de la oruga o llantas. Los trabajos de uniformidad de materiales es un trabajo no fino ya que, si se requiere fino y, respetando niveles, es necesario hacerlo con una

motoniveladora, y ayuda a optimizar materiales ya que la excavación optimizada puede generar ahorro en los proyectos de movimiento de tierras y en este ámbito la automatización del tractor es de gran ayuda para optimizar un proyecto en la etapa de movimiento de tierras.

Al momento de utilizar el GNSS en un tractor bulldozer y volverlo automatizado se está garantizando una mayor rapidez de trabajo debido a que no es lo mismo realizar cortes o destronques teniendo una idea de lo que se tiene que cortar, a un sistema que indique hasta donde hay que cortar.

Para la automatización de un tractor son necesarios diversos tipos de sensores que ayuden a conocer la ubicación del tractor, sus giros de cuchilla o de el mismo; además, es necesario colocar una antena receptora de GPS en la cuchilla del tractor, sensores en el motor de rotación y un sensor en su sistema hidráulico para conocer a qué velocidad se puede bajar la cuchilla para realizar los cortes. Con estos sensores se puede controlar desde un monitor en cabina, todos los movimientos del tractor y, por medio de topografías previas, es posible ver todo el terreno a trabajar e indicarle al sistema cuánto es lo que se requiere cortar.

Figura 8. **Tractor bulldozer**



Fuente: Caripsc Guatemala S.A. *Bulldozer*.

[https://www.google.com.gt/search?q=Caripsc+Guatemala+S.A&rlz=1C1ASUT\\_enGT763GT763&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiN6fb5MbaAhWkrFkKHUPNCnsQsAQI](https://www.google.com.gt/search?q=Caripsc+Guatemala+S.A&rlz=1C1ASUT_enGT763GT763&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiN6fb5MbaAhWkrFkKHUPNCnsQsAQI)  
Og&biw=1366&bih=662. Consulta: 12 de julio de 2017.

#### 4.4. **Excavadoras**

Es otra máquina utilizada para el movimiento de tierras en trabajos de construcción civil. Es una máquina autopropulsada, ya sea por neumáticos u oruga, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro, y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace.

Para la automatización de una excavadora es necesario la colocación de diversos sensores dentro del chasis y el sistema de la excavadora. Es necesario conocer los movimientos de la pala por lo cual se colocan 3 sensores

de movimiento en lo largo del brazo de la pala para conocer cada uno de los movimientos del brazo o la pala de la excavadora. En el cucharón o pala es necesario conocer la longitud total de los dientes para colocar un sensor que indica la forma del cucharón o pala. También, para que el sistema trabaje automatizado, es necesario conocer la rotación del cuerpo de la excavadora. Con la combinación de los sensores se obtiene la visual dentro de una pantalla que se coloca en cabina para que el operador tenga la total visual de su máquina en la pantalla y cuando se cargue dentro del sistema, el diseño que se está trabajando, el operador sabrá exactamente donde está ubicado y qué trabajo tiene que realizar; también, puede observar en tiempo real todos los movimientos de la máquina.

Figura 9. **Excavadora automatizada**



Fuente: Caripsc Guatemala S.A. *Excavadora automatizada*.

[https://www.google.com.gt/search?q=Caripsc+Guatemala+S.A&rlz=1C1ASUT\\_enGT763GT763&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiN6fb5MbaAhWkrFkKHUPNCnsQsAQI&og&biw=1366&bih=662](https://www.google.com.gt/search?q=Caripsc+Guatemala+S.A&rlz=1C1ASUT_enGT763GT763&tbo=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiN6fb5MbaAhWkrFkKHUPNCnsQsAQI&og&biw=1366&bih=662). Consulta: 12 de julio de 2017.

## **5. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y MEDICIÓN SATELITAL UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA**

### **5.1. Generalidades**

A diferencia de métodos convencionales, los equipos GNSS permiten ubicación y elevación precisa en tiempo real (RTK), con lo cual se mejora el rendimiento considerablemente ya que es posible trabajar a grandes distancias sin necesidad de nuevos enlaces; además, el topógrafo/operador se desplaza con los equipos realizando y supervisando los trabajos al mismo tiempo, sin la necesidad de estar a distancias donde no pueda apreciar la condición del terreno y tenga que guiarse por el criterio de los ayudantes.

Para que una motoniveladora funcione automatizada es necesario la colocación de diversos sensores dentro de esta, así como la ayuda de instrumentos o equipos topográficos para que el sistema se encuentre trabajando automatizado dentro de los parámetros o superficies de diseño.

### **5.2. Antenas receptoras GNSS**

Los equipos GNSS que se utilizan para la automatización de una motoniveladora utilizan antenas receptoras GNSS. Los receptores GNSS son la interfaz del usuario a cualquier sistema global de navegación por satélite (GNSS) y su objetivo es procesar las señales en el espacio (SIS) transmitidas por los satélites. La mayoría de estos se basan en soluciones de navegación del receptor que proporcionan posición, velocidad y tiempo. Las antenas

receptoras GNSS son de alta precisión y realizan un seguimiento de cada constelación satelital actual y futura.

Las características principales de los receptores GNSS son:

- Tipo y constelación que se recibe
- Precisión de medida (estático, cinemático, RTK, diferencial o SBAS)
- Comunicación de entrada y salida
- Disponibilidad o no de telefonía integrada
- Disponibilidad o no de radio

Existen diversos tipos y marcas de antenas receptoras GNSS, en el trabajo de campo de esta investigación se trabajó con antenas marca Topcon de tipo GR5.

Las antenas receptoras GR5 son antenas de última tecnología que permiten rastrear todas las constelaciones actuales y futuras a gran precisión, debido a los grandes avances que se han manifestado en el ámbito de la topografía y la nivelación de superficies por medio de maquinaria automatizada dando como resultado trabajos de alta precisión y fineza a una mayor velocidad de producción. Para tener un equipo automatizado es necesario que las antenas receptoras cumplan con los siguientes valores:

- 216 canales universales G3 (GPS, GLONASS y Galileo).
- RTK: H:10mm + 1ppm. V: 15mm + 1ppm.
- Levantamiento estático: H: 3mm + 0-5ppm.
- Tipo de radio óptico: transmisión (TX) UHF, recepción (RX), frecuencia 915 MHz.

Es indispensable que este tipo de especiaciones las contenga el equipo a instalar dentro de la motoniveladora. Para lograr que el sistema funcione satisfactoriamente es necesario que todos los equipos estén configurados de la misma manera con los mismos parámetros.

Figura 10. **Antena receptora GNSS**



Fuente: *Antena receptora*. [www.topcontotalcare.com](http://www.topcontotalcare.com). Consulta: 12 de julio de 2017.

### 5.3. **Estación total**

Estación total se denomina a un instrumento electro-óptico utilizado en el campo de la topografía para mediciones del comportamiento de la tierra, así como para trabajos de construcción civil. Su funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica y consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Una estación total se compone de las mismas partes y funciones que un teodolito. El estacionamiento y verticalización son idénticos, aunque para la estación total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los

tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación del eje secundario, con el mismo comportamiento que en un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que en el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.

La estación total permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, también, a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador.

Generalmente se les denomina estaciones totales porque tienen la capacidad de medir ángulos, distancias y niveles, lo cual requería previamente de diversos instrumentos. Su precisión, facilidad de uso y posibilidad de almacenar la información para descargarla después en programas de CAD o en cualquier otro programa, ha hecho que desplacen a los teodolitos, que actualmente están siendo retirados del mercado.

Para la automatización, la estación total ayuda con los trabajos previos y necesarios para un proyecto, así como la poligonal inicial y la colocación de puntos de control en los cuales se centran las antenas receptoras GNSS para la recepción satelital. Esto permite realizar los levantamientos previos en las superficies originales del diseño para el sistema de *machine control*.

Figura 11. **Estación total**



Fuente: *Estación total*. [www.topcontotalcare.com](http://www.topcontotalcare.com). Consulta: 12 de julio de 2017.

#### **5.4. Receptor y transmisor milimétrico láser**

Los receptores y trasmisores laser convierten el GPS en la herramienta perfecta para la máxima precisión en el control de nivelación de superficies a una máxima precisión. Millimeter GPS (transmisor y receptor láser) combina las ventajas del láser (multiusuario y de alta precisión vertical) con GPS (multiusuario y 3D) en un versátil y fácil de utilizar sistema. Esta tecnología patentada mejora la precisión de nivelación hasta un 300 % más de los sistemas existentes de máquina 3D-GPS.

A diferencia de cualquier otra tecnología láser, el transmisor envía un muro de luz 33' de altura y hasta 2000' de diámetro. Basta con añadir el receptor laser, sensor de control de la máquina o a la antera receptora rover a su GPS existentes y ver su precisión GPS encogiéndose verticalmente hacia abajo, teniendo precisiones de hasta 1 mm y en ocasiones de 0. Con los transmisores láser es posible conectar hasta 4 receptores láser para un total de 8000 ' horizontalmente y 132 ' verticalmente.

Figura 12. **Uso de los transmisores y receptores láser**



Fuente: Caribbean Positioning System. *Transmisores y receptores láser*. <http://caripsc.com/>.

Consulta: 12 de julio de 2017.

## **6. APLICACIÓN GNSS Y TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA MOTONIVELADORA**

### **6.1. Integración de equipos**

Para trabajar con una motoniveladora automatizada es necesario la integración de los equipos anteriormente mencionados para tener un sistema funcional y que ayude a mejorar la ejecución del proyecto o tarea.

La integración de los equipos comienza desde la topografía inicial de un proyecto, con la poligonal inicial y la colocación de diversos puntos de control para tener un proyecto localizado y amarrado a un mismo sistema de coordenadas; la forma de realizar este tipo de trabajo puede ser variada y los equipos a utilizar pueden ser estaciones totales o bien antenas receptoras de GNSS. Además, es preciso contar con los datos de la superficie original en formato .xml, obtenidos de un levantamiento topográfico que puede ser trabajado con estación total o antenas GNSS y luego trabajado dentro de los diversos programas de computación para generar la primera superficie original o levantamiento primitivo.

El proceso de automatización de una motoniveladora ayuda a realizar los cortes o rellenos necesitados por el proyecto para una nivelación de superficies. Este sistema trabaja por medio de una comparación de superficies, una superficie original contra una superficie de diseño, por lo cual es necesario cargar al equipo las dos superficies para que el sistema pueda reconocer la ubicación del proyecto y reconozca los cortes o rellenos dentro del proyecto.

Para que el sistema identifique la ubicación del proyecto es necesario cargar al sistema los puntos de control del proyecto para que al tener la ubicación del proyecto y las dos superficies pueda realizar el trabajo deseado.

Figura 13. **Seleccionar superficie para cargarla al sistema Topcon en motoniveladora**



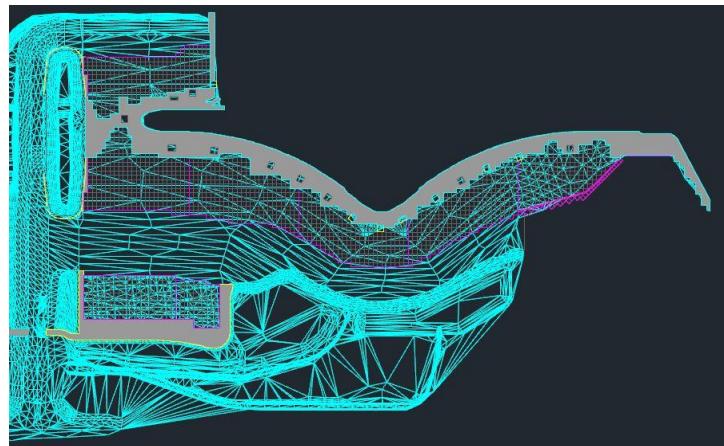
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Importar superficie a motoniveladora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Superficie de diseño en formato.xml**



Fuente: elaboración propia.

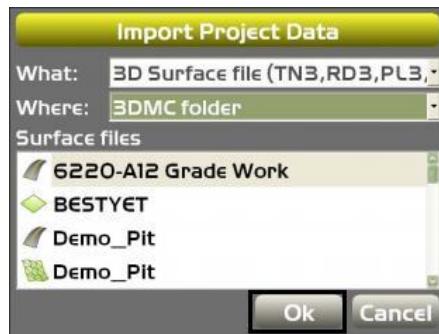
Es de suma importancia que los mismos puntos de control del proyecto sean cargados correctamente al sistema de la motoniveladora automatizada, ya que esta funciona como un rover del sistema GNSS; por lo que es impecable ingresar correctamente los datos para evitar que el sistema realice trabajos no deseados.

Figura 16. **Seleccionar puntos de control**



Fuente: elaboración propia

Figura 17. Importar puntos de control a motoniveladora



Fuente: elaboración propia.

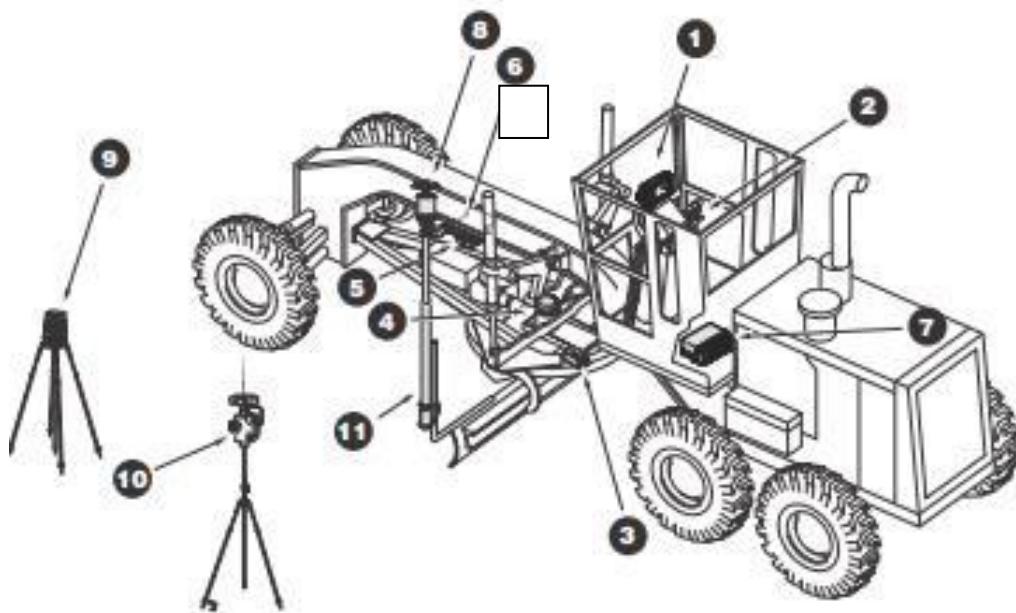
Esta integración de equipos tendrá sus efectos dentro de la automatización en complemento a los sensores colocados dentro de la motoniveladora y cargando los mismos programas que utilizan las antenas receptoras GNSS a la computadora dentro de la máquina volviendo esta en otra antena más conectada a la antena base colocada en un punto de control del proyecto realizando las correcciones satelitales para mantener el mismo sistema de coordenadas.

## 6.2. Sensores en motoniveladora

Para el funcionamiento de una motoniveladora automatizada es necesario conocer diversos factores de la motoniveladora como el sistema de válvulas hidráulicas para saber a qué velocidad se sube o se baja la cuchilla, la rotación de la motinveladora, la pendiente de la cuchilla, la ubicación de la cuchilla, su sistema eléctrico y todos estos factores se tienen que unificar al programa o interface por medio de los sensores instalados a la máquina.

En el mercado de la automatización de maquinaria pesada, existen varias marcas que distribuyen estos sistemas; dentro de las más conocidas se encuentran Topcon, Leica y Trimble. Para este trabajo de graduación se utilizó el sistema de automatización marca Topcon. Los sensores que utiliza una motoniveladora son los siguientes:

Figura 18. **Sensores dentro de una motoniveladora**



Fuente: Caribeean Positioning System. *Sensores de motoniveladora*. <http://caripsc.com/>.

Consulta: 12 de julio de 2017.

- GX-60: monitor y computador instalado dentro de la cabina de la motoniveladora; este monitor tiene programadas utilidades y permite tener la visual del sistema y de la motoniveladora mientras está funcionando en tiempo real. Por medio de esta computadora se realizan todos los ajustes al sistema como ingresar los datos de las superficies,

calibrar los sensores, realizar levantamientos, configurar pendientes, entre otros.

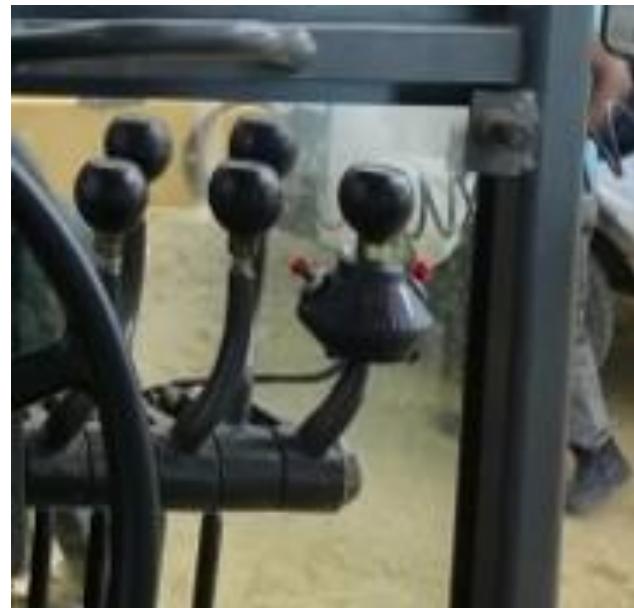
Figura 19. **Imagen de GX-60 en motoniveladora**



Fuente: elaboración propia.

- Automáticos (*smart knobs*): botones colocados en las palancas de la motoniveladora para pasar de un sistema manual al sistema automático.

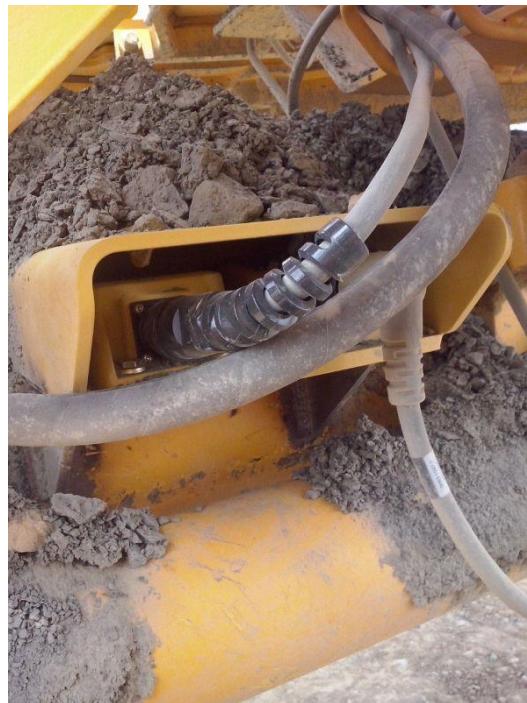
Figura 20. **Botones automáticos para accionar el sistema**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor de pendiente: el sensor de pendiente es el que indica cómo se encuentra la inclinación de la cuchilla en todo momento; este sensor es de mucha importancia debido a que la mayoría de superficies que se trabajan contienen una pendiente de bombeo y con este sensor el sistema reconoce automáticamente las pendientes del diseño y hace su movimiento automático para colocarse como el diseño lo indica. Este sensor se coloca en la parte superior de la chuchilla de la motoniveladora por lo cual se mantiene en un constante movimiento por lo que se recomienda hacer una soldadura con una estructura de metal y para poder colocar la caja que lo sujetá. Este sensor es necesario calibrarlo cada vez que se va a comenzar un área de trabajo nueva por medio de la GX60.

Figura 21. **Sensor de pendiente colocado en motoniveladora**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor de rotación: este sensor permite conocer la rotación del cuerpo de la motoniveladora; al ser esta una máquina articulada, puede tener diversos movimientos que es necesario conocer para tenerlos dentro del sistema y hacer que funcione de forma automática.

Figura 22. **Colocación de sensor de rotación en motoniveladora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Sensor de rotación con su case colocado**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor principal: este sensor está conectado con los sensores de pendiente y de rotación, enlaza los dos sensores y reduce cualquier tipo de mala lectura que estos puedan llegar a tener; también, transmite las correcciones hacia la MC-R3 y la información puede ser observada en la fineza del trabajo.

Figura 24. **Sensor principal**



Fuente: elaboración propia.

- Conexión hidráulica: para accionar automáticamente la cuchilla de la motoniveladora para que baje o suba a los niveles deseados de corte o de relleno es necesario colocar un sensor hidráulico acoplado al sistema hidráulico que contienen las motoniveladoras. Este sistema hidráulico variará dependiendo la marca y el modelo de la motoniveladora; este sistema tendrá que ser calibrado desde la computadora del equipo GX60 para manejar la velocidad de bajada o de subida de una forma limpia y no abrupta por medio del control de válvulas.

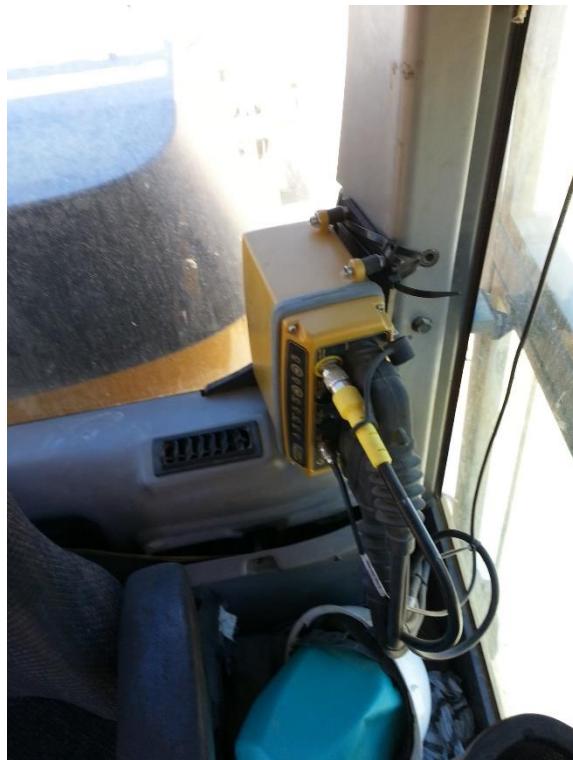
Figura 25. **Sistema de válvulas colocado en motoniveladora**



Fuente: elaboración propia.

- MC-R3: este sensor es el cerebro del sistema de la automatización; procesa toda la información y donde se encuentran las entradas de todos los sensores. Este sensor es necesario conectarlo al sistema eléctrico de la motoniveladora para que pueda proporcionar información de cuando está encendida la máquina y transmite la corriente para que todos los sensores enciendan y puedan trabajar correctamente. Por la importancia de este sensor se coloca dentro de la cabina de la máquina para evitar algún tipo de daño por la operación.

Figura 26. **Sensor MCR3**



Fuente: elaboración propia.

- Receptor milimétrico con antena GNSS: esta antena está compuesta por un receptor milimétrico el cual se coloca por medio de un mástil de vibración a la cuchilla de la motoniveladora; esta es la que proporcionará la posición de la cuchilla en todo momento e indicará cuándo esta se esté moviendo en cualquier dirección; el rover con receptor milimétrico permite revisar los trabajo realizados por la motoniveladora utilizando el sistema milimétrico.

**Figura 27. Receptor milimétrico con antena GNSS**



Fuente: Caribbean Positioning System Panama. <https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

**Figura 28. Transmisor milimétrico enviando señal a motoniveladora, Aeropuerto Tocumen, Panamá**



Fuente: Caribbean Positioning System Panama, <https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

- Rover con receptor milimétrico: para la supervisión de los trabajos es necesario contar con un rover para medir y realizar levantamientos topográficos a los lugares donde la motoniveladora ha trabajado; si la motoniveladora trabajó con un sistema milimétrico, es necesario realizar la supervisión con el mismo sistema, por cual se le adapta al rover un receptor de señal láser milimétrico para supervisar los trabajos de la motoniveladora correctamente.

Figura 29. **Calibración de receptor milimétrico, aeropuerto Tocumen Panamá**



Fuente: Caribbean Positioning System Panama. <https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

- Transmisor milimétrico: equipo láser utilizado para aumentar la precisión del sistema GNSS utilizado para trabajos de mucha precisión como en aeropuertos.

Figura 30. **Transmisor milimétrico enviando señal a motoniveladora**



Fuente: Caribbean Positioning System Panama. *Motoniveladora automática*.

<https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

- Mastil de vibración: es un soporte que se coloca a la cuchilla de la motoniveladora para sostener el receptor milimétrico y la antena receptora de GNSS



## 7. GENERALIDADES SOBRE UNA MOTONIVELADORA AUTOMATIZADA

### 7.1. Niveles de precisión

Una de las generalidades de automatizar una motoniveladora es el incremento de la producción sin sacrificar la precisión de los trabajos; la precisión de los trabajos es de gran importancia porque existen ciertos niveles de tolerancia que se tienen que respetar para la ejecución de trabajos.

Se maneja que a mayor producción es menor la precisión de los trabajos o tramos debido a que por realizar una actividad más rápido su pueden llegar a perder parámetros de precisión o mal manejo de niveles. Con la motoniveladora automatizada esto no sucede debido a que al tener el equipo totalmente calibrado y la superficie de diseño correcta, el sistema puede llegar a trabajar a un doble de velocidad que la normal sin perder los parámetros de precisión; esto se realiza debido a que la cuchilla logra los niveles deseados desde la primera pasada, haciendo que las pasadas sobre el mismo tramo se reduzcan en un 70 %.

En el método tradicional de nivelación se comprueba la superficie por el método del hilo y esto consiste en colocar dos varas de la misma altura en cada estaca de nivelación y colocar un hilo entre estas para ir midiendo el medio del terreno y así decirle al operador de la máquina si los niveles están correctos o no. Con la automatización este trabajo se realiza por medio de una antena receptora GNSS rover para ir supervisando el trabajo de la máquina cuando al operador le marca que ya se encuentra a nivel el tramo.

En caso de que el proyecto requiera un error de menos de un centímetro el sistema automatizado con la ayuda de los equipos láser pueden llegar a estas precisiones sin afectar la producción del sistema, debido a que cuentan con la tecnología satelital más la tecnología láser para trabajar altas precisiones.

## **7.2. Aumento de producción**

Unos de los principales factores en utilizar la tecnología satelital para la automatización de una motoniveladora es el aumento de la producción; en la mayoría de proyectos de movimiento de tierras o de nivelación de superficies; una de las mayores preocupaciones es la cantidad de producción diaria por tramo a trabajar, ya que con base en la producción diaria está el avance de la obra; para la nivelación de superficies tradicional la nivelación irá amarrada a la cantidad de personal que tenga el equipo de nivelación y a la capacidad del operador de la motoniveladora así como a la cantidad de tramo que la cuadrilla de topografía le tenga marcado al operador; por lo cual existen muchos factores que podrían atrasar la producción de un proyecto.

Con la automatización de una motoniveladora se elimina la colocación de estacas, por lo cual no es necesario el acompañamiento de una cuadrilla de topografía ni personal de ayudantes que estén corriendo tacos o trompos, ni se limita la producción a la capacidad del operador. Al reducir todos estos factores que pudieran atrasar la producción de un proyecto y poder controlar todo desde un operador adentro de la cabina de la motoniveladora depende únicamente del abastecimiento de material para tener una mayor producción. Este aumento de producción se puede notar desde el día que se comience a utilizar la automatización ya que el programa que se instala es de uso amigable y permite que todo sea totalmente visual.

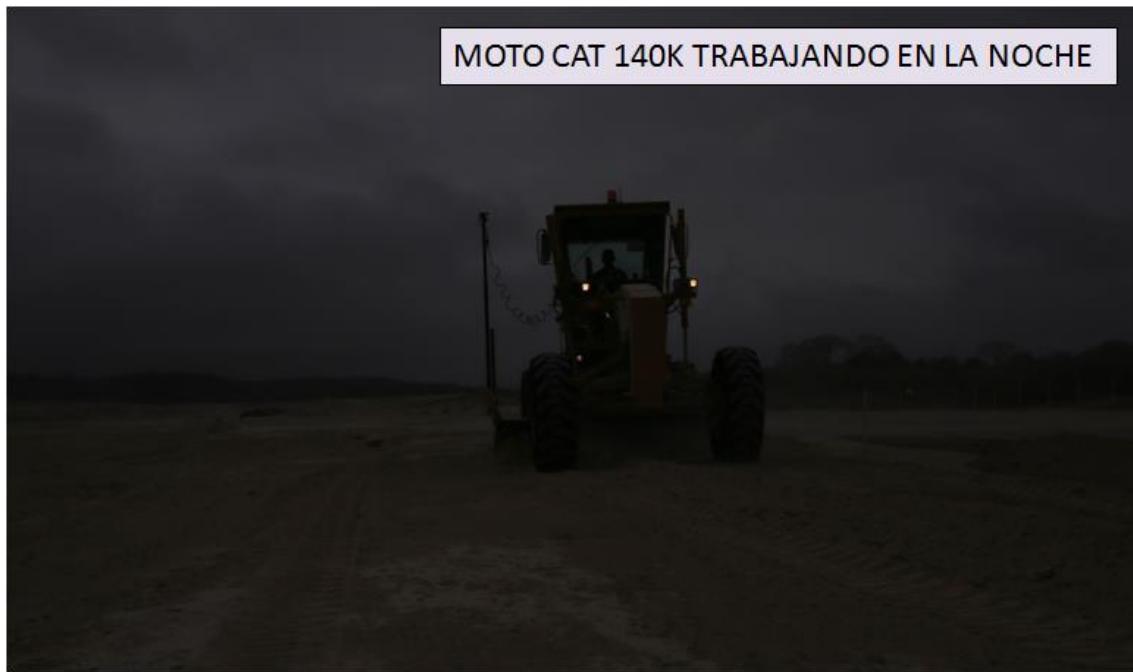
Figura 31. **Pantalla en motoniveladora en un trabajo de corte**



Fuente: elaboración propia.

Otro beneficio que ayuda al aumento de producción es en trabajos nocturnos, ya que el operador no necesita estar observando las estacas de nivel que realiza la cuadrilla de topografía debido a que dentro de la cabina puede observar el diseño completo del proyecto por lo cual no depende de personas afuera para que le indiquen por donde tiene que trabajar.

Figura 32. **Motoniveladora trabajando de noche**



Fuente: Caripsc. República Dominicana. *Motoniveladora de noche*. <http://caripsc.com/>.

Consulta: 12 de julio de 2017.

### 7.3. Reducción de costos

La introducción de nuevas tecnologías en los grandes proyectos está amarrado a reducir costos dentro de estos proyectos, por lo cual la automatización es una herramienta que ayuda a lograr una significante reducción de costos a un corto y mediano plazo. Esta tecnología satelital requiere de un costo de inversión que será compensado con el aumento de producción y una reducción de costos fijos dentro del proyecto.

Tabla I. Comparación de los métodos convencional y automático en 400 m de producción



Construtora  
Sanches Tripoloni

	Conv.	Automático
Comprimento	400m	400m
Máquina	Cat K	Cat K
Topografia	GTS-239W	GR-3
Nº de Estacas	40	Zero
Tempo Topografia	45min	10min
Nº de Caminhões	120	105
Nº de Passadas	8	4
Tempo de Execução	1h40min	50min

Fuente: Constructora Sanches Tripoloni. *Comparación de métodos*.

<http://www.sanchestripoloni.com.br/es/>. Consulta: 12 de julio de 2017.

Como se observa en la tabla 1, se compara un método convencional con un método automatizado para una motoniveladora Cat de la serie K; compara la cantidad de estacas utilizadas con cada método, el tiempo de brigada de topografía, la cantidad de pasadas que requiere la motoniveladora para nivelar la superficie de los 400 metros y el tiempo de cada uno de los métodos. Según el tiempo de cada método, el método automatizado puede realizar el mismo trabajo que el convencional en la mitad del tiempo.

Tabla II. **Integración de costos de un proyecto en un área de 4 800 m<sup>2</sup> en tramo de carretera con método convencional, Bávaro - Miches, República Dominicana**

MÉTODO CONVENCIONAL						
Área Considerada em m <sup>2</sup>	4800 (400m comprimento x 12m de largura)					
Profissional	Qtd	Horas/Dia	Dias	Horas Total	Valor/Hora	Custo
Topógrafo	1	2	1	2	R\$ 261,00	R\$ 522,00
Aux. Topografia	2	2	1	4	R\$ 80,00	R\$ 640,00
Estacion Total GTS-239W	1	2	1	2	R\$ 100,00	R\$ 200,00
Transporte de Equipe (Combustível) até 20km*	1	1	1	1	R\$ 78,00	R\$ 78,00
Encargado	1	0,3	1	0,3	R\$ 530,00	R\$ 159,00
Ajudante para Motoniveladora	2	1	1	2	R\$ 80,00	R\$ 320,00
Operador de motoniveladora	1	1	1	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
Motoniveladora CAT 140K com operador*	1	1	1	1	R\$ 183,00	R\$ 183,00
Custos Adicionais						
Estacas y Pintura de Estacas	30	0		0	R\$ 1,50	R\$ 45,00
VALOR TOTAL POR HORA PARA EJECUCION DE 4800m <sup>2</sup> CON SISTEMA CONVENCIONAL						R\$ 2.227,00

Fuente: Caripsc. República Dominicana. *Presupuesto para construcción de una carretera.*

<http://caripsc.com/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

La anterior tabla hace una integración de costos los cuales comprenden un trabajo de nivelación de superficies de 4 800 m<sup>2</sup> para un trabajo convencional integrándolo en costo por hora trabajada.

Tabla III. **Integración de costos de una nivelería de superficies en un área de 4 800 m<sup>2</sup> con método automatizado en tramo de carretera, Bávaro - Miches, República Dominicana**

MÉTODO COM GPS						
Área Considerada em m <sup>2</sup>	4800	(400m comprimento x 12m de largura)				
Profissional	Qty	Horas/Dia	Dias	Horas Total	Valor/Hora	Custo
Topógrafo	1	0,3	1	0,3	R\$ 261,00	R\$78,30
Aux. Topografia				Eliminado		
GPS RTK	1	0,3	1	0,3	R\$ 300,00	R\$ 90,00
Transporte de Equipe (Combustível) até 20km*	1	0,3	1	0,3	R\$ 78,00	R\$ 23,40
Encarregado	1	0,3	1	0,3	R\$ 530,00	R\$ 159,00
Ajudante com linha - Motoniveladora				Eliminado		
Gredista com trena				Eliminado		
Motoniveladora CAT 140H com operador*	1	0,3	1	0,3	R\$ 170,50	R\$ 51,15
Custos Adicionais						
Estacas e Pintura de Estacas				Eliminado		
<b>VALOR TOTAL POR HORA PARA EXECUÇÃO DE 4800m<sup>2</sup> COM O SISTEMA GPS AUTOMÁTICO</b>					<b>R\$ 401,85</b>	

Fuente: Caripsc. República Dominicana. *Presupuesto para nivelería de superficie.*

<http://caripsc.com/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

En la tabla 3, se aprecia la reducción de costos sobre el mismo tramo de 4 800 m<sup>2</sup> con una motoniveladora automatizada; en amarillo, se eliminan los rubros innecesarios dentro de este sistema y se puede apreciar la disminución de costos sobre hora trabajada.



## **8. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODO DE NIVELACIÓN DE SUPERFICIES TRADICIONAL CONTRA MÉTODO DE NIVELACIÓN AUTOMATIZADO**

### **8.1. Generalidades**

Desde hace muchos años, el trabajo de nivelación de superficies se ha realizado de una manera tradicional y funcional; teniendo en cuenta que para la realización de estos trabajos es necesario utilizar brigadas de topografía constantes, ayudantes constantes, operadores de maquinaria con experiencia para poder tener un trabajo satisfactorio. Con la llegada de la tecnología satelital se trata de reducir todos los factores que podrían llegar a cometer algún tipo de error o que se atrasen los proyectos.

La tecnología satelital ayuda a minimizar los errores y ayuda en el aumento de la producción diaria o por hora. Al aumentar la producción de un proyecto se ve beneficiado en los avances y en el tiempo de entrega del mismo; así mismo, como en las ganancias del proyecto.

La tecnología satelital para la automatización de una motoniveladora no trata de eliminar el personal de trabajo de campo o de eliminar las brigadas de topografía, ya que para que el sistema funcione correctamente es necesario tener una topografía correcta. Y a los ayudantes de nivelación de una motoniveladora los elimina ya que es un trabajo muy riesgoso y que conlleva accidentes y en muchos casos son catastróficos.

## 8.2. Tabla de producción: horas-máquina trabajadas, personal de trabajo, costo por hora trabajada y materiales trabajados

Para la exemplificación de estos avances tecnológicos se trabajó una tabla de producción de la curva de aprendizaje de un proyecto que adoptó la empresa Odebrecht en la ciudad de Panamá en la ampliación del aeropuerto de Tocumén, Panamá.

Tabla IV. **Informe de producción de control de maquinaria**

INFORME DE PRODUCCION MACHINE CONTROL										
CARIPSC PANAMA S.A.										
ENCARGADO CARIPSC: Eduardo Guerrero/Pablo Martinez										
ENCARGADO DE PRODUCCION: Juan Granda										
MAQUINA: Volvo G930										
OPERADOR: Jorge Gonzales										
FECHA	ZONA DE	HORA	HORA	PRODUCCION	PRODUCCION	RELLENO	CORTE	ESPESOR	TIPO DE	
19/3/14	P2	8	5	3500.93	350.09	X	---	0.10	Capa-base	
20/3/14	P2	9	10	6,113.23	611.32	X	---	0.10	Capa-base	
21/3/14	P2	10	6	3,402.00	340.20	X	---	0.10	Capa-base	
22/3/14	P2	6	3.5	1,045.30	104.53	X	---	0.10	Capa-base	
24/3/14	P2	10	9	3,044.10	334.85	X	---	0.11	Capa-base	
25/3/14	P2	11.2	7.8	5,054.00	555.94	X	---	0.11	Capa-base	
26/3/14	P2	12.4	10	4,318.70	475.06	X	---	0.11	Capa-base	
27/3/14	P2	9.2	8.2	2,751.83	275.18	X	---	0.10	Capa-base	
28/3/14	P2	11.2	8	5,120.57	512.06	X	---	0.10	capa-base	
29/3/14	P2	4.5	3	2,728.94	272.89	X	---	0.10	capa-base	
31/3/14	P2	11.2	6	4,636.47	463.65	X	---	0.10	capa-base	
4/01/2014	P2	12	5	2,577.03	257.70	X	---	0.10	capa-base	
4/02/2014	P2	11	9	7,456.94	745.69	X	---	0.10	capa-base	
4/03/2014	P2	8	6	4,042.31	444.65	X	---	0.11	capa-base	
4/04/2014	P2	11	7	3,138.64	345.25	X	---	0.11	capa-base	

Fuente: Caribbean Positioning Systema Panama. *Informe de producción. Expansión aeropuerto Tocumen.* <https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

En la anterior tabla se observa la cantidad de producción diaria en los primeros 15 días de aprendizaje con el sistema de automatización; se observa el espesor de las capas a llenar y el tipo de material utilizado en el proyecto con los siguientes resultados:

- 55 430,06 metros cuadrados de producción, nivelación terminada y compactada.
- 6 089,08 metros cúbicos de material trabajado.
- 3 969,50 metros cuadrados promedio por día.
- 103 horas de máquina automatizada.
- 535,56 metros cuadrados nivelados por hora de máquina.

**Tabla V. Comparación de brigada tradicional contra brigada automatizada en costo por metro cuadrado**

Descripción	Método sin GPS			Método con GPS		
	cantidad	costo	costo por m <sup>2</sup>	cantidad	costo	costo por m <sup>2</sup>
Productividad de la brigada en M <sup>2</sup> /dia		1200			3959.29	
Composición						
Indirecto			\$0.25			\$0
brigada topográfica	1.00	\$305.00	\$0.25	0.00	\$0.00	\$0.00
Directos			\$1.30			\$0.46
capataz	1.00	\$130.68	\$0.11	1.00	\$130.68	\$0.03
peon	3.00	\$53.10	\$0.13	1.00	\$53.10	\$0.01
Integración CARIPSC	0.00	\$365.63	\$0.00	1.00	\$365.63	\$0.09
motoniveladora Volvo G930	1.00	\$612.00	\$0.51	1.00	\$612.00	\$0.15
Rodillo vibrador liso	1.00	\$405.00	\$0.34	1.00	\$405.00	\$0.10
camión cisterna	1.00	\$252.00	\$0.21	1.00	\$252.00	\$0.06
Costo total de brigada por m <sup>2</sup>			\$1.55			\$0.46

Fuente: Caribbean Positioning Systema Panama. *Comparación de brigadas*.

<https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

En la anterior tabla se aprecia una comparación de producción de un método convencional contra un método automatizado, por producción diaria y por el costo de metro cuadrado trabajado y nivelado. Se observa que en el método automatizado disminuye la cantidad de ayudantes y la brigada de topografía que hace que el costo por metro cuadrado sea mucho más rentable del sistema automatizado. Tanto en el método convencional o automatizado existen factores que no se pueden omitir o quitar como la maquinaria para compactación de superficies o los camiones cisternas para mantener una humedad óptima en los materiales.

Hay varios métodos de comparación entre dos sistemas y siempre se va haber afectado por la mayor producción a menor costo, por lo cual el sistema automatizado tiene una mayor inversión; pero genera una mayor producción que reduce los costos hasta una 50 % menos, y puede ser mayor la reducción si se logra aumentar la producción.

## 9. ANÁLISIS DE SOFTWARE DE POSPROCESO

Los software de posproceso y ajuste se utilizan para disminuir la tolerancia y darles una mejor precisión a los datos obtenidos en campo; el software a utilizar dependerá de la marca de las antenas receptoras y sistema automatizado que se utilicen; en el ejemplo de aplicación utilizado receptores marca Topcon por lo que el software a utilizar es el Topcon Pocket 3D ®.

Independientemente de la marca del software, la metodología a utilizar es la misma. El primer paso configurar el sistema con el sistema de coordenadas que vamos a utilizar, siempre utilizando coordenadas UTM y con la zona según se encuentre el proyecto ubicado. El siguiente paso es colocar los puntos de control del proyecto al sistema teniendo cuidado de ingresarlos correctamente porque un mal dato en los puntos de control podría llegar a hacer catastrófico para el proyecto. Luego, es necesario cargar la superficie de diseño para que todo se pueda amarrar al mismo sistema y se pueda trabajar correctamente.

Luego de agregar todos los datos a nuestro sistema en el programa Pocket 3D, por medio de una memoria USB se traslada la información de nuestra data colectora hacia la computadora de la motoniveladora, para que la motoniveladora tenga los mismos parámetros que tengan las antenas receptoras GNSS. Al tener ya todo correctamente integrado ya se puede trabajar el sistema automatizado mediante a la misma interfaz que trabajan las antenas receptoras.

Dentro de este software la motoniveladora automatizada funciona como un rover adicional como que si fuera otra antena receptora de GNSS dándole da

capacidad de hacer levantamientos topográficos, replanteo de puntos correcciones satelitales, teniendo las mismas características y capacidades de un equipo topográfico.

Figura 33. **Software Pocket 3D dentro de la motoniveladora Volvo G930**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Los métodos de nivelación de superficies tradicionales se han utilizado a lo largo de proyectos de nivelación teniendo resultados satisfactorio en la mayoría de los proyectos; por lo cual el sistema de nivelación con maquinaria automatizado se acopla muy bien a las necesidades de los proyectos debido a que ayuda a los sistemas tradicionales a mejorar la producción diaria de los trabajos minimizando riesgos en la ejecución de los proyectos.
2. La tecnología GNSS en los equipos de topografía han aumentado la productividad de los trabajos topográficos en trabajos abiertos al cielo o con cobertura satélites debido a que estos equipos satelitales pueden guardar coordenadas totales en los puntos de medición haciendo que el trabajo del topógrafo sea más sencillo de almacenar y realizar los levantamientos topográficos.
3. En los proyectos que se han utilizado maquinarias automatizadas con tecnología satelital se ven beneficiados en altas producciones y rendimiento en los proyectos de nivelación de superficies, tienen en cuenta que a mayor productividad menor será el costo por metro cuadrado nivelado.
4. El control de maquinaria por tecnología satelital está abarcando gran cantidad de mega proyectos y se han expandido en colocar esta tecnología en diversas máquinas como motoniveladoras, tractores bulldozer, excavadoras, pavimentadoras, entre otras.

5. Debido a la alta demanda en tecnología satelital, los equipos de topografía con señal satelital se han podido integrar a la automatización debido a sus grandes capacidades de trabajo y a la alta precisión que se ha logrado haciendo trabajos de equipos láser a una mayor velocidad.
6. Con la ayuda de diversos sensores colocados dentro de la motoniveladora se logra tener un control de esta máquina para trabajos de corte y relleno que puede automatizarla y aumentar la producción de una máquina reduciendo horas-máquina trabajadas.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar los puntos de control y la superficie del diseño del proyecto al momento de cargar al software del sistema automatizado es de mucha importancia debido a que si se ingresan mal los datos o la superficie, los resultados del trabajo pueden ser no deseados.
2. Luego de tener un sistema de motoniveladora automatizado se requiere que se suprima el personal de ayudantes que corren tacos o trompos por seguridad industrial del proyecto debido a que con el sistema automatizado el operador no necesitará los tacos o trompos de nivelación para definir si el terreno ya se encuentra a nivel.
3. Mantener en buen estado los sensores colocados dentro de la motoniveladora y hacer calibraciones semanalmente para mantener las mismas cotas; de lo contrario, los sensores puedan estar descalibrados y se pueden tener errores en campo.
4. El operador de un sistema automatizado necesita confiar en los instrumentos de tecnología satelital y sensores colocados en la motoniveladora para hacer más eficiente y rápido el trabajo, ya que no contará con tacos o trompos de nivel.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA UREÑA, María Jesús. *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión*. España: Universidad de Córdoba, 2010. 315 p.
2. DIVAS, Jose Manuel. *Desarrollo de una metodología de evaluación de las redes de apoyo catastral georreferenciadas por medio de tecnología satelital*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 130 p.
3. HAYNES, Jr. Carl; SIMMNS, J.W. *Construction with surface bonding*. Washington, D.C., Estados Unidos: Department of Agriculture, 2012. 18 p.
4. LEIK, Alfred, *GPS Satellite Surveying*. New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2012. 230 p.
5. ROBB, Louis A. *Diccionario para ingenieros. Español-inglés, inglés-español*. Nueva York, Estados Unidos: John Wiley and Sons, 2014. 664 p.
6. Trimble Navigation Limited. *GPS The First Global Navigation Satellite System*. California, Estados Unidos: Sunnyvale, 2008. 436 p.



## ANEXOS

Anexo 1. **Motoniveladora en trabajos de nivelación con transmisor láser**



Fuente: Caribbean positioning System, Panama. *Motoniveladora*.  
<https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

## Anexo 2. Antenas receptoras en verificación de superficies



Fuente: Caribbean positioning System, Panama. <https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

Anexo 3. **Motoniveladora automatizada en trabajos de nivelación de superficies**



Fuente: Caribbean Positioning System Panama. *Motoniveladora automática*.

<https://www.iongeo.com/Panama/>. Consulta: 13 de julio de 2017.

