



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“CONTROL DE MAQUINARIA CON TECNOLOGIA GPS UTILIZADA EN EL MOVIMIENTO DE TIERRA DE OBRAS VIALES”.

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor

Profesor Guía:
Sr. Adolfo Montiel Mansilla
Ingeniero Constructor.

**JOSE FRANCISCO RUIZ URIBE
VALDIVIA – CHILE**

2007

DEDICATORIA

Quiero dedicar con mucho cariño esta tesis a mis padres por todo el esfuerzo que realizaron todos estos años para lograr terminar mi carrera y por el apoyo incondicional que siempre me brindaron.

También de forma muy especial a mis hermanos y cuñado por instarme a salir adelante con mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me brindaron ayuda, que dio como resultado este trabajo:

En primer lugar mis padres quienes han sido los que me han llevado a ser lo que soy hoy en día, gracias a su fortaleza y perseverancia.

A mi familia por el apoyo que me brindaron.

A mi profesor guía don Adolfo Montiel Mansilla, por toda la disponibilidad y ayuda durante el desarrollo de esta tesis.

A don Lorenzo Rivera León de la empresa Geocom, por toda la ayuda y colaboración brindada.

Finalmente a todos mis amigos que hice en esta etapa de mi vida, por todos los momentos que compartimos y sobre todo por su amistad.

A todos muchas gracias.

INDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCION

OBJETIVOS

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1.1	Movimientos de Tierra de Obras Viales	1
1.1.1	Despeje y Limpieza de la Faja	1
1.1.2	Trazado	2
1.1.3	Excavación	9
1.1.4	Terraplenes	13

CAPITULO II: EQUIPOS Y MAQUINARIAS UTILIZADAS EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS.

2.1	Clasificación y Tipos de maquinarias	29
2.2	Ventajas y Limitaciones de las distintas maquinarias	31
2.3	Elecciones de las Maquinarias	32
2.4	Equipos de Remoción	33
2.5	Equipos de Conformación	39
2.6	Equipos Mixtos de Remoción y Transporte	42
2.7	Equipos de Compactación	43
2.8	Equipos de Transporte	44

CAPITULO III: NUEVAS TECNICAS DE GUIADO DE LA MAQUINARIA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

3.1	Control de Maquinarias	46
3.2	Sistema de Control de Maquinaria con Tecnología Ultra Sonido	46
3.3	Sistema de Control de Maquinaria con Láser 2D	48
3.4	Sistema de Seguimiento Automático o AST (Láser 3D)	52

**CAPITULO IV: CONTROL DE MAQUINARIA CON TECNOLOGIA
GPS PARA MOVIMIENTO DE TIERRA.**

4.1	¿Qué es el GPS y como funciona?	54
4.2	Control de Maquinaria con Tecnología GPS.	58
4.3	Control de pendiente en maquinaria para movimiento de tierra.	60
4.4	Control de Excavadora con Tecnología GPS.	70

CAPITO V: ANALISIS COMPARATIVO.

5.1	Método.	74
5.2	Parámetros.	74
5.3	Análisis respecto a los componentes del sistema.	74
5.4	Análisis respecto al proceso de ejecución.	76
5.5	Análisis respecto a las características.	80
5.6	Análisis respecto a costos y productividad.	83
5.6.1	Tabla N° 1. Calculo de los costos de cada hora de trabajo.	84
5.6.2	Tabla N° 2. Tiempos y Costos por cada kilómetro de trabajo.	85
5.6.3	Tabla N° 3. Cuadro comparativo de sistemas de control de Maquinaria en base a una motoniveladora de 140 HP.	86
5.6.4	Tabla N° 4. Calculo del costo unitario.	87
5.6.5	Tabla N° 5. Calculo de Productividad de una maquina de 16 HP.	88
5.6.6.	Observaciones.	89

CONCLUSIONES 90

**ANEXO: APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA GPS EN OBRAS
DE CONSTRUCCION EN EL MUNDO.**

ANEXO N° 1:	Protección de Venecia.	93
ANEXO N° 2:	Excavando en medio del Rhin.	97
ANEXO N° 3:	Llegando muy alto gracias a la red GPS.	98

ANEXO N° 4:	Monitorización de un dique de tierra por levantamiento GPS.	101
BIBLIOGRAFIA		103

INDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1 Estacas para corte.	3
Fig. N° 2 Estacas para terraplén.	5
Fig. N° 3 Comprobación de un talud.	5
Fig. N° 4 Estacas de talud.	8
Fig. N° 5 Componentes de un Terraplén.	17
Fig. N° 6 Talud de corte y terraplén.	19
Fig. N° 7 Representación de un talud.	25
Fig. N° 8 Formación de terraplenes.	28
Fig. N° 9 Formación de terraplenes.	28
Fig. N° 10 Bulldozer.	34
Fig. N° 11 Tractor de oruga.	34
Fig. N° 12. Tractor de ruedas.	34
Fig. N° 13 Pala cargadora WA700-3 de Komatsu.	38
Fig. N° 14 Pala Excavadora montada orugas.	38
Fig. N° 15 Pala Excavadora montada sobre llantas.	38
Fig. N° 16 Pala excavadora y cargadora combinada.	39
Fig. N° 17 Motoniveladora.	40
Fig. N° 18 Partes de una motoniveladora.	40
Fig. N° 19 Motoniveladora de la gama CHAMPION GRADERS de VOLVO.	43
Fig. N° 20 Compactadoras BITELLI TIFONE C120: de rulo, y de pata de cabra.	43
Fig. N° 21. Rodillo compactador.	44
Fig. N° 22. Compactadora LEBRERO de pata de cabra.	44
Fig. N° 23. Cargador frontal sobre llantas.	45
Fig. N° 24. Dúmper Terex serie TR60.	45

Fig. N° 25. Sistema Ultrasonido referido a un para Pavimento existente.	47
Fig. N° 26. Lienza de referencia Sistema Ultrasonido.	47
Fig. N° 27. Moto niveladora con Sistema Ultrasonido siguiendo la referencia de la lienza.	47
Fig. N° 28. Asfaltadota con Sistema Ultrasonido con referencia a la pasada anterior.	48
Fig. N° 29. Esquema Control de Maquinaria.	49
Fig. N° 30. Diagrama de operación para Cargador Frontal.	50
Fig. N° 31. Cargador Frontal con Sistema de Control Indicativo	50
Fig. N° 32. Operación del láser.	51
Fig. N° 33. Sistema Láser automático para Buldózer; configuración de un mástil instalado en el centro de la hoja de corte para control de pendiente simple.	51
Fig. N° 34. Sistema Láser automático par Bulldozer; configuración de dos mástiles instalados uno en el centro y el otro a un costado de la hoja de corte para control de doble pendiente.	51
Fig. N° 35. Sistema Láser automático par Motoniveladora; configuración de un mástil instalado en un extremo de la hoja de corte para control de pendiente longitudinal y un sensor para controlar la pendiente transversal.	52
Fig. N° 36. Sistema Láser automático para Motoniveladora; configuración de dos mástiles instalado en cada extremo de la hoja para control de pendiente longitudinal y transversal.	52
Fig. N° 37. Sistema de seguimiento automático para Motoniveladora. Control tridimensional.	53
Fig. N° 38 Sistema de seguimiento automático (AST) para Bulldozer. Control tridimensional.	53
Fig. N° 39. Satélite NAVSTAR GPS.	54

Fig. N° 40. Esquema de funcionamiento del equipo GPS.	57
Fig. N° 41. Funcionamiento del equipo GPS.	58
Fig. N° 42. Esquema que demuestra como trabaja el sistema.	59
Fig. N° 43. Motoniveladora con sistema GPS.	59
Fig. N° 44. Motoniveladora con sistema GPS + Láser.	60
Fig. N° 45. Bulldozer con sistema GPS.	60
Fig. N° 46. Bulldozer con sistema GPS, pantalla del operador.	60
Fig. N° 47. Excavadora con sistema GPS.	60
Fig. N° 48. Máquina Zanjadora con sistema GPS.	60
Fig. N° 49. Pantalla del operador.	64
Fig. N° 50. Pantalla del operador.	64
Fig. N° 51. Pantalla del operador.	65
Fig. N° 52. Pantalla del operador.	65
Fig. N° 53. Pantalla del operador.	67
Fig. N° 54. Definición del diseño del sitio de la obra.	68
Fig. N° 55. Pantalla del operador del sistema GPS.	71
Fig. N° 56. Pantalla gráfica del sistema con información planimetría.	71
Fig. N° 57. Vista en perfil transversal.	72
Fig. N° 58. Vista en perfil longitudinal.	72
Fig. N° 59. Vista en planta en combinación con información numérica.	73
Fig. N° 60. Pantallas que visualiza el operador.	73
Fig. N° 61. Montaje mixto en motoniveladora. Ultrasonido y Láser.	76
Fig. N° 62. Diferentes procesos de ejecución.	77
Fig. N° 63. Esquema sistema clásico.	78
Fig. N° 64. Esquema sistema ultrasonido y láser 2D.	78
Fig. N° 65. Esquema sistema semiautomático.	79
Fig. N° 66. Esquema sistema automático.	79

Fig. N° 67. Grafico Tendencia de productividad v/s costo.	92
Fig. N° 68. Equipo de trabajo.	93
Fig. N° 69 Venecia.	94
Fig. N° 70. Esquema de funcionamiento de la obra a construir.	95
Fig. N° 71. Esquema de funcionamiento de la obra a construir.	95
Fig. N° 72. Equipo de trabajo.	97
Fig. N° 73. Equipo de Trabajo.	98
Fig. N° 74. Construcción de la obra.	100
Fig. N° 75. Esquema de la obra.	102

RESUMEN

En la industria de la construcción siempre se esta buscando automatizar los procesos y actividades propias del rubro, por lo cual se han lanzado al mercado nuevos productos que aprovechan el avance de la tecnología.

La capacidad de realizar movimientos de tierra de forma más inteligente, más rápida y con mayores beneficios es fundamental en la industria de la construcción altamente competitiva de hoy en día.

Unos de estos nuevos productos es la tecnología GPS incorporada en las maquinarias de Movimientos de Tierra utilizadas en Obras Viales, el cual permite guiarlas y así incrementar significativamente la productividad, eficiencia, rapidez y precisión en la ejecución de obras de construcción.

SUMMARY

The main aim of the building industry is to automate all the activities and the processes specially involved in this area. As a consequence, and taking advantage of technological innovation, new products have been launched to the trade.

The ability to do earthwork in a more effective and competent way, and, therefore, with more benefits, is essential for the Building Industry, which is highly competitive at the present time.

One of these new products is the GPS technology which has been incorporated into the special earthwork equipment used in road works. This system functions as the machinery guide and this is an important fact that significantly improves productivity, efficiency, speed and accuracy in the building work procedures.

INTRODUCCION

El Movimiento de Tierra se denomina como el conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria.

Una visión más detallada de los pasos que involucra el Movimiento de Tierra en Obras Viales nos permite tener un mayor manejo del tema, también de los pasos preliminares, y no menos importantes, que deben llevarse a cabo en la construcción de un camino, cualquiera sea la finalidad de éste.

Para llevar a cabo un Movimiento de Tierras es necesario la ejecución de ciertas etapas previas para dar comienzo a las obras, como es el uso de la topografía para el trazado, la sustitución de esta etapa nos puede ayudar considerablemente a aumentar la rapidez de ejecución.

Antes de dar comienzo a los trabajos de movimientos de tierra y durante este debe tenerse presente los efectos negativos que puedan generar sobre el medio ambiente y las molestias a las personas debido a las actividades de extracción, carga, transporte o de colocación de materiales. Además se debe velar por la protección de la flora y fauna, durante la ejecución de la obra.

A través de esta Tesis se expondrán las distintas operaciones que contempla el movimiento de tierras, prestando atención a la maquinaria que actualmente se emplea, sus ciclos de trabajo, producciones, etc. En especial a las nuevas técnicas de guiado de la maquinaria, como es el Ultra Sonido, Láser 2D, Láser 3D, AST y GPS, enfocado principalmente en este ultimo.

Finalmente un análisis comparativo de cada unos de estos sistemas de guiado para tener una idea de cual es el más conveniente para ejecutar movimientos de tierra, en cuanto a ciertos parámetros como el costo, productividad, rapidez, etc.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

La idea principal de la ejecución de esta Tesis es que sea utilizada como guía, tanto para alumnos como profesionales del rubro de la construcción, que desean ir adquiriendo nuevos conocimientos sobre los productos, que acorde con el avance a la tecnología se están lanzando en el mercado, los cuales puedan ayudar significativamente en el desarrollo de etapas en Obras de Construcción, entregando una mayor rapidez, mayor eficiencia entre otros. Enfocado específicamente a lo que concierne al Control de Maquinarias con Tecnología GPS utilizada en el Movimientos de Tierra de Obras Viales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los fundamentos y procedimientos básicos para la elaboración de un proyecto de obras viales.
- Identificar claramente en que consiste un Movimiento de Tierra ejecutado en Obras Viales.
- Definir las maquinarias que actualmente se están utilizando en el Movimiento de Tierra, la función que desempeñan y la forma de trabajo en terreno.
- Dar a conocer acerca de los nuevos productos que se han lanzado en el mercado para la industria de la construcción con la finalidad de permitir automatizar los procesos y actividades propias de este rubro.
- Entrega de información acerca de la revolucionaria tecnología GPS, con la cual es posible guiar la maquinaria de movimiento de tierra en obras viales, adquirir los conocimientos adecuados sobre este tema nos permite una correcta aplicación de los mismos, logrando incrementar significativamente la productividad, trabajar con mayor precisión y eficiencia.
- Por otro lado dar a conocer como se desempeñan en terreno y que etapas del movimiento de tierra se pueden omitir, como por ejemplo ya no es necesario esperar el avance de topografía en el estacado o instalación de guías.

- Nos sirva de herramienta a la hora de tomar decisiones correctas sobre que maquinaria, que utiliza esta tecnología es la adecuada a utilizar en cada etapa del movimiento de tierra, obteniendo así el rendimiento optimo y una ejecución del trabajo con mayores beneficios.
- Realizar un análisis comparativo con los mecanismos utilizados en la actualidad.

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1.1 Movimiento de Tierra.

Definición

Las cotas de proyecto de rasante y subrasante de las obras de pavimentación establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros casos elevarlas.

En el primer caso corresponde ejecutar un trabajo de "corte o excavación", y en el segundo, un trabajo de "relleno o de terraplén".

En ambos casos debe efectuarse lo que constituye propiamente un "Movimiento de Tierra".

1.1.1 Despeje y Limpieza de la Faja

Descripción y Alcances

Esta Sección se refiere a los trabajos de desmonte, tala y eliminación de la vegetación existente dentro de las áreas de trabajo del Proyecto, donde el emplazamiento de las obras lo requiera. Se incluye, además, el despeje de las áreas de construcción de estructuras, de emplazamiento de canales, fosos, contrafosos y de otras obras del Proyecto.

La limpieza comprende además la eliminación de ramaje aéreo y el retiro de cualquier desecho, escombros u otro material en desuso que se encuentre dentro del área prescrita, cualquiera sea su procedencia.

En general la corta total de árboles sólo deberá ejecutarse donde ellos interfieran con las obras u obstruyan el gálibo. Donde sea necesario despejar para mejorar la visibilidad de los usuarios de la ruta, normalmente sólo se deberá ejecutar un raleo selectivo. No será necesario eliminar la vegetación de las áreas donde no se emplacen obras.

Áreas que deben Despejarse

La superficie natural del terreno deberá ser despejada de árboles, troncos, raíces, tocones, matorrales y arbustos, hasta una profundidad no menor que 0,30 m por debajo de la superficie, así como de los escombros, desechos y todo otro material objetable dentro de los siguientes límites:

- Áreas de fundación de terraplenes hasta 1,00 m más afuera del pie de los mismos;
- Áreas de excavación de cortes hasta 1,00 m más afuera de los bordes superiores;
- Fajas de emplazamiento de canales, fosos, contrafosos y otras obras de drenaje, hasta 0,50 m más afuera de las líneas de borde;
- Áreas de excavación para fundaciones de estructuras hasta 1,00 m más afuera de las líneas de excavación;
- Áreas de emplazamiento de los cercos que delimitan la faja en 1,00 m de ancho;
- Toda el área del cauce de los escurrimientos naturales dentro de los límites definidos por el Proyecto;
- Toda el área delimitada por los cercos cuando se cruzan plantíos de árboles frutales, viñas u otros terrenos bajo cultivo; y
- Toda otra área indicada en el Proyecto, ya sea que comprenda tala total o raleo selectivo.

1.1.2 Trazado

Traza de carreteras

Las carreteras se proyectan y se estacan tomando en consideración sus lineamientos horizontal y vertical, así como sus secciones transversales.

Las estacas de trazo

Las primeras estacas que se ponen en la obra son las de la línea central, en las que se marcan la profundidad del corte o la altura del terraplén y las estacas de talud o ceros que marcan los límites exteriores del área que debe desmontarse, limpiarse y conformarse y, generalmente, dan datos sobre los cortes y terraplenes.

Cuando es necesario excavar cortes muy gruesos o construir terraplenes muy elevados, la mayor parte del trabajo se puede ejecutar guiándose solamente con las estacas de talud, tanto con las originales como otras que se coloquen en los taludes arriba o abajo al avanzar el trabajo.

Cuando el nivel de las terrazas en construcción se va aproximando a la subrasante, son necesarias más estacas. Se vuelven a poner las estacas de la línea central, y pueden colocarse mas para los acotamientos y cunetas.

El afinamiento se puede hacer con trompos azules, que son estacas que se hincan hasta que su cabeza queda a la rasante y con cuerdas o alambres en las estacas de los acotamientos.

Estacas de talud o ceros

Las estacas de talud se colocan donde los taludes exteriores de los cortes o de los terraplenes cortan la sección transversal del terreno original, generalmente a intervalos de veinte metros y también en otros puntos donde cambia la inclinación del terreno o existen detalles especiales en el mismo que lo afecten. Se colocan en los puntos en los que no hay corte ni terraplén.

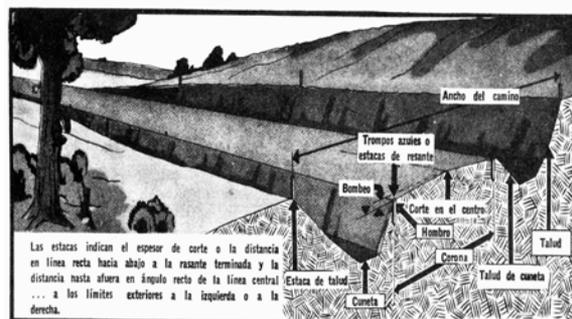


Fig. N° 1. Estacas para corte.

Las estacas de talud por lo general se colocan mediante un tránsito o nivel de lente fijo y una cinta de acero de 100 pies. Son las primeras marcas que necesitan los operarios, y marcan los límites exteriores del terreno que debe desmontarse.

Las estacas de corte pueden inclinarse ligeramente alejándose de la línea central, mientras que las de terraplén pueden inclinarse hacia ella.

Cada estaca debe mostrar el corte o terraplén necesario para que quede a nivel el terreno con la línea central en ese punto, y la distancia a la línea central. A menudo, se marcan en ellas las inclinaciones de los taludes, pero a veces no. Si es la misma en toda la obra el sobrestante puede aprenderla de memoria.

Las estacas de talud y las demás estacas laterales generalmente se marcan con el número de la estación, la distancia a la línea central, y su posición con respecto a la línea central. La dirección se indica con la letra D para la derecha e I para la izquierda. Estas direcciones para las subestaciones se leen como si se vieran desde la estaca del cero. En algunas localidades 25-D significa 25 pies a la derecha de la línea central, en otras que la línea central está a 25 pies a la derecha de la estaca.

Un talud que no se conoce se puede determinar restando la mitad de la anchura del camino (incluyendo la cuneta si la hay) de la distancia de la estaca de talud al centro, y dividiendo el residuo por la medida del corte o del terraplén.

Por ejemplo, si la distancia de la estaca de talud al centro fuera de 28 pies y la mitad de la anchura del camino 24 pies la anchura del talud sería de 4 pies. Si su altura fuera de 2 pies, el talud sería de 1 a 2.

Al profundizarse un corte que se está construyendo, generalmente es necesario comprobar el talud con nuevas estacas, que pueden colocarse por medio de un nivel de carpintero o de cuerda, una regla y una plomada.

Estacas de referencia

Las estacas que quedan en los lugares donde hay corte se arrancan al hacer la excavación, y las que quedan en los terraplenes quedan cubiertas de tierra. En los cortes de poco espesor, se pueden dejar provisionalmente en pilares de tierra; y en los terraplenes de poco espesor, se pueden utilizar estacas largas que sobresalgan. Las estacas de talud pueden socavarse o enterrarse. Además, todas las estacas pueden moverse por accidente, especialmente si el terreno es pedregoso o está congelado.

Por lo tanto, es conveniente colocar estacas de referencia bastante alejadas de las líneas de trabajo para facilitar la reposición de las mismas.

Estas estacas se pueden colocar a los dos lados o a un lado solamente. Se marcan con la estación y la distancia de la línea central y, pueden identificarse poniéndoles las iniciales P. R. (punto de referencia).

Si la faja que ocupa el camino es angosta o de longitud moderada, colocando estacas de referencia a ambos lados se pueden reponer las estacas de trabajo haciendo medidas simplemente de las estacas de referencia.

Cuando hay árboles o rocas grandes cerca del camino, se pueden clavar clavos en los árboles, o hacerse marcas con cincel en las rocas, en lados opuestos del camino, y tenderse una cinta entre ellas. Se anotan las lecturas en la línea central y en los extremos, anotando la estación. Con estas notas es posible volver a determinar el centro en forma rápida y precisa.

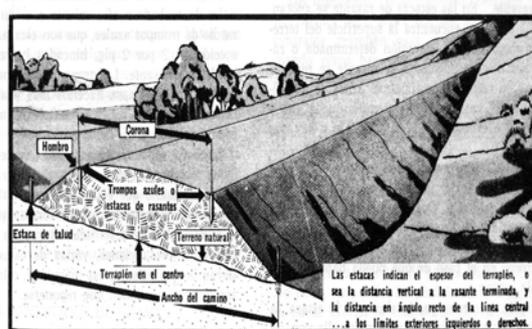


Fig. N° 2. Estacas para terraplén

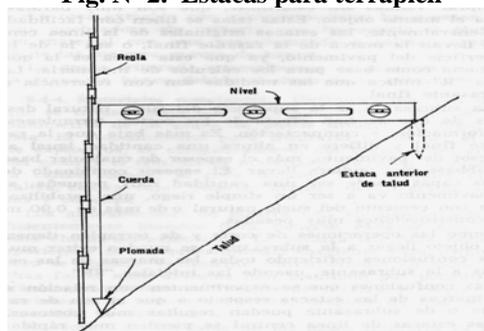


Fig. N° 3. Comprobación de un talud

Cuando se pueden encontrar algunos puntos de la línea central valiéndose de las referencias laterales, a menudo es posible colocar las estacas faltantes alineándolas a ojo con una precisión razonable.

Las pendientes se pueden marcar en las estacas de referencia, o se puede utilizar un sistema de bancos de nivel separado.

Los topógrafos, con frecuencia, trazan una línea paralela a la línea central, dejando las estacas de centro y las demás a los trabajadores del contratista.

La rasante

En las estacas de rasante se anotan las distancias a que se encuentra la superficie del terreno arriba o abajo de una elevación determinada o rasante. Las distancias verticales a la rasante se marcan en las estacas en metros y centímetros. Antes de los números se pone “C” para corte si el terreno queda alto y haya que cortar o excavar, o “T” si está bajo y hay que rellenar.

Los cortes y los terraplenes pueden medirse de la base de la estaca (del nivel del terreno), de su cabeza o de una línea trazada en ella. Cualquier origen que no sea el terreno confunde a los operadores y pueden sufrir equivocaciones serias. Sin embargo, se deberá marcar el nivel del terreno en el caso de que pueda bajar o subir sin mover la estaca.

Si el terraplén es menor que la altura de la estaca, la rasante puede marcarse directamente sobre ella con un crayón. Es un método excelente amarrar una tira de trapo alrededor de la marca para hacerla más visible al operador.

Los cortes de poca profundidad se pueden marcar temporalmente con trapos a una distancia especificada, como uno o dos metros, arriba de la rasante de manera que los operadores no tengan que bajar de las máquinas para leer los números.

Se pueden sacar muchas tiras de trapo de una sábana vieja rasgándola. Si no se dispone de una, se pueden comprar vendas sin esterilizar, que son muy baratas, para el mismo objeto. Estas telas se tiñen con facilidad.

Generalmente, las estacas originales de la línea central llevan la marca de la rasante final, o sea la de la superficie del pavimento, ya que esta línea es la que se toma como base para los cálculos de ingeniería. La letra “R” indica que las medidas son con referencia a la rasante final.

La subrasante es la superficie del suelo natural después de que se han efectuado los cortes, terraplenes, conformación y compactación. Es más baja que la rasante final y difiere en

altura una cantidad igual al espesor del pavimento, más el espesor de cualquier base o sub base que pudiera llevar. El espesor combinado de estas capas puede ser una cantidad muy pequeña, si el pavimento va a ser un simple riego, una estabilización con cemento del suelo natural o de más de 0.90 m en construcciones muy pesadas.

Como las operaciones de corte y de terraplén tienen por objeto llegar a la subrasante, se pueden evitar muchas confusiones refiriendo todas las marcas de las estacas a la subrasante, usando las iniciales "SR".

Las confusiones que se experimenten con relación a las marcas de las estacas respecto a que si son de rasante o de subrasante pueden resultar muy costosas.

Las estacas de línea central se pierden muy rápidamente en las excavaciones gruesas y, el trabajo se guía, principalmente, con las estacas de talud. Sin embargo, al aproximarse las secciones a la rasante correcta, las estacas centrales se reponen, y se ponen las demás laterales que marcan la sección transversal de proyecto del camino, los hombros y las cunetas.

Las estacas de la arista de cualquier superficie deben clavarse a una distancia de aproximadamente quince a treinta centímetros, para que puedan servir de guía sin interferir con el trabajo.

Con frecuencia, es necesario quitar tierra derramada o nivelar a mano alrededor de una estaca para que el operador la pueda leer y ver si su rasante está alta o baja respecto a su referencia.

Estacas de trazo definitivo

Las operaciones finales de acabado o afinamiento a menudo se guían por medio de trompos azules, que son estacas de rasante con sección de 2 por 2 pulg, hincadas hasta que su cabeza quede a la rasante. Los trompos se colorean, a menudo, con crayón azul para hacerlos más visibles; los que se clavan más abajo de la superficie se marcan con una estaca delgada a un lado.

Los conformadores expertos de terracerías pueden trabajar sobre los trompos azules sin moverlos. Sin embargo, es necesario que el operario que trabaja a pie quite los montones de

tierra que se forman por los derrames que los ocultan, y destaparlos si quedan enterrados. Aún con estas precauciones, varias de estas estacas se las llevan las cuchillas de las máquinas, o las tiran las llantas, por lo que tienen que reponerse.

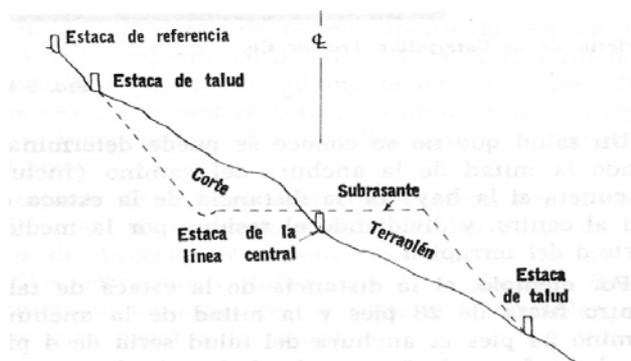


Fig. N° 4. Estacas de talud.

Para colocar los trompos azules, se instala un nivel con telescopio y se determina su altura (A.I.) con relación a un banco de nivel. La lectura correcta del estadal para la rasante se calcula en cada estaca del perfil correspondiente al perfil teórico, tomando en cuenta el bombeo o sobre elevación cuando sea necesario. El estadalero comienza a hincar la estaca y sostiene el estadal sobre la misma, y el nivelador le indica lo que falta de clavar. El estadalero hinca un poco más la estaca, se toma otra lectura, repitiendo el proceso hasta que la cabeza de la estaca quede a unos cuantos milímetros de la rasante.

Es una costumbre generalizada colocar los trompos a distancia de 50 pies a lo largo del camino, de 12 a 15 pies en las secciones transversales. Con la separación a 50 pies se produce algo de ondulamiento, pues aunque el operador tome la rasante correcta en la estaca, tiene la tendencia a conformar un poco arriba o abajo de la misma entre ellas. Lo que se puede evitar reduciendo la separación a 25 pies.

Cuidado de las estacas

Los operadores deben tener mucho cuidado con las estacas cuando trabajan al rededor de ellas porque son valiosas, tanto como guías para corregir el trabajo, como por su costo de reposición. En general, una sola estaca se puede reponer fácilmente, a veces sin instrumentos, pero un grupo puede requerir bastante trabajo de los topógrafos.

Errores en las estacas

Un nuevo grupo de estacas puede no coincidir con las pérdidas. La discrepancia puede provenir de un error al colocar las originales o de otro al reponerlas. A veces queda bien construido un camino cuando todas las estacas tienen el mismo error, pero rara vez cuando unas tienen la posición correcta y otras equivocadas.

Se considera que las estacas están correctas hasta que se notan discrepancias. Si cualquier estaca parece estar fuera de línea o fuera de rasante, es que puede haberse movido o alterado; puede ser estaca de la preliminar o alguna otra marca, o puede haberse cometido algún error al colocarla o al marcarla.

Cuando es posible, debe comprobarse por la brigada de topografía. Si esto no resulta práctico, debe llamarse al sobrestante para que utilice su propio criterio respecto a cómo debe reponerse. Sin embargo, no debe moverse, a menos de que sea absolutamente necesario, porque la estaca sospechosa puede estar correcta y las demás equivocadas.

1.1.3 Excavaciones.

Excavación general abierta

Nos referimos a las excavaciones requeridas para conformar la plataforma del camino, así como cualquier otra excavación definida como tal, en el Proyecto.

Quedan comprendidas, entre otras, las excavaciones necesarias para realizar los escarpes, los cortes del camino y la remoción de materiales inadecuados. En este último caso, se considerarán aquellos suelos que se encuentren a nivel de fundación de terraplenes, a nivel de la subrasante o por debajo de ésta. Las excavaciones que aquí se tratan, incluyen el transporte de los materiales hasta los lugares previstos en el Proyecto, sean estos terraplenes, escombreras u otros, cualquiera sea la distancia a recorrer.

Para los efectos de determinar el costo de ejecutar una excavación establecemos primero una clasificación basada en la mayor o menor dureza del terreno, y que debe ser usada para la cubicación de los movimientos de tierra, pues de esta clasificación dependerán los

medios necesarios para realizar la excavación las que varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

- **Excavación en terreno blando**

Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de la pala. El material del suelo puede ser de tipo arenoso, arcilloso o limoso, o una mezcla de estos materiales; también puede contener materiales de origen orgánico.

- **Excavación en terreno semiduro**

Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de picota. El material puede ser en tal caso una mezcla de grava, arena y arcilla, moderadamente consolidada, o bien una arcilla fuertemente consolidada.

- **Excavación en terreno duro**

Puede ser ejecutada valiéndose exclusivamente de chuzo. El material puede ser una mezcla de grava, arena y arcilla, fuertemente consolidada.

- **Excavación en terreno muy duro**

Puede ser ejecutada valiéndose necesariamente del uso de maquinaria especializada. El tipo de material puede ser una roca semi-descompuesta.

- **Excavación en roca**

La que precisa para su ejecución del uso de explosivos. El material puede estar constituido por un manto de roca, o por piedras de gran tamaño, que no pueden ser removidas mediante el uso de maquinaria.

Excavaciones de Empréstitos

Se entenderá por empréstito al lugar físico y sus instalaciones, aprobado por la Inspección Fiscal destinado a la extracción de áridos para la producción de materiales destinados a una obra vial. Para la explotación de un empréstito se deberá contar con un Plan de Manejo, de acuerdo a las indicaciones que se entregan a continuación.

De acuerdo al lugar donde se ubica el empréstito, en general, se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Empréstitos en Cauces Naturales,
- Empréstitos en Cortes de Camino,
- Empréstitos en Pozos.

Para estos empréstitos, en lo que sea pertinente, resultan válidas las consideraciones que en adelante se detallan.

Criterios de Localización.

La localización de sitios de empréstito deberá considerar una serie de criterios, entre los que destacan:

- Evitar la alteración de áreas protegidas, indicadas en el Catálogo de Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios.
- Evitar la afectación de sitios donde subsiste flora en categoría de conservación (se consideran aquellos que no estén representados en las categorías de áreas protegidas).
- Evitar la afectación de sitios que albergan fauna en categoría de conservación (se consideran aquellos que no estén representados en las categorías de áreas protegidas).
- Evitar la afectación de sitios de interés arqueológico o histórico
- No podrán ubicarse a menos de 1.000 (m) de zonas pobladas, salvo que en el plan de manejo se justifique una distancia menor.
- No se aceptarán excavaciones profundas localizadas en cercanías de puentes, defensas fluviales y obras de captación de agua. La distancia mínima aceptable será de 500 (m) aguas arriba y 500 (m) aguas abajo de las obras correspondientes al empréstito.
- Se deberá evitar la extracción de materiales de los siguientes sitios, salvo que el Inspector Fiscal, previamente asesorado por los especialistas ambientales de la Dirección de Vialidad, lo

apruebe expresamente por escrito: en ensanche de un corte del camino fuera de los límites definidos por el perfil tipo de Proyecto y/o utilizando pozos existentes contiguos a la faja del camino, siempre que generen una mejora definitiva del área, contemplando los aspectos de drenaje, seguridad y paisaje.

- Cuando el Contratista de la Obra desee abrir un pozo cercano al camino en construcción o cercano a un camino ya existente, éste deberá ubicarse según las siguientes consideraciones:
- En terrenos con cierta pendiente, a una distancia no inferior a 200 m del eje de la calzada y que no pueda ser visto desde ningún camino.
- En zonas de relieve muy plano, a una distancia no inferior a 500 m del eje de la calzada proyectada o de cualquier otro camino cercano, donde no se pueda evitar su visión.
- No se aceptará la explotación de pozos de empréstitos en terrenos clasificados como suelos agrícolas de Capacidad de Uso I a III.
- Evitar el emplazamiento en terrenos susceptibles a procesos erosivos, inestabilidad geotécnica o riesgos de inundación.

El Contratista deberá realizar por su cuenta y a su propio cargo las negociaciones para adquirir los terrenos o derechos de las áreas que utilizará para sus empréstitos. También, serán de su cargo la adquisición de los derechos de puerta, la construcción de las facilidades necesarias para adecuar las áreas a los propósitos señalados y, en general, ejecutar todas las acciones y obtener las autorizaciones que se requieran para explotar empréstitos en conformidad con la legislación vigente.

Podrán utilizarse como empréstitos, considerando criterios estéticos, de seguridad y sanidad ambiental, aquellas zonas con vestigios remanentes de cerros originados en la apertura original de faja, y que no generen un impacto visual de significancia o aquellos cuyos suelos estén clasificados en Clases de Capacidad de Uso IV a VII.

La responsabilidad de la búsqueda, ubicación, explotación, terminación y limpieza de los sitios de empréstitos como fuente de materiales para la obra, será de entera y total responsabilidad del Contratista de la obra, siendo el Inspector Fiscal, previamente asesorado por los especialistas ambientales de la Dirección de Vialidad, el que otorgará la autorización. La eventual información sobre empréstitos que entregue el proyecto a través de las Bases de Licitación, deberá servir de antecedente para el manejo de empréstitos. No obstante, el Contratista de la obra deberá hacer suya dicha información, efectuando las verificaciones y procedimientos que correspondan.

1.1.4 Terraplenes

Definición

Un terraplén es la acumulación de tierra o suelo de una cierta calidad que se compacta para darle una resistencia que le permita soportar determinados esfuerzos. La resistencia de dicha acumulación de tierra varía de acuerdo al tipo de suelo que se use y de acuerdo al uso que se pretenda dar a tal obra.

Se entiende por terraplén a la extensión y compactación de tierras procedentes de excavaciones o préstamos, que se realiza normalmente utilizando medios mecánicos.

Generalidades

Cuando se realiza un proyecto vial se necesita, para extender la carpeta de rodado, de una faja que sea plana y obviamente resistente para recibir las cargas que se proyectaron. El terreno por naturaleza presenta desniveles que se determinaron anteriormente en el estudio topográfico. Es aquí en donde la construcción del camino requiere de la ejecución de cortes y terraplenes para poder salvar estas dificultades y poder obtener una superficie plana por donde podrán circular los vehículos.

La construcción de estos, por lo tanto, dependerá de las características del terreno, sin embargo independiente de estas características, la construcción de cortes y terraplenes siguen patrones comunes que explicaremos mas adelante.

Se dice que el terraplén es el talón de Aquiles de un camino. En efecto, el paso de vehículos pesados sobre capas de material desigualmente compactadas produce deformaciones y asientos diferenciales, que se reflejaban en irregularidades superficiales que agrietan la capa de rodadura.

Formación de Terraplenes.

Al construir un terraplén el objetivo esencial, sino único, es llegar a la mínima compresibilidad y a la máxima resistencia al corte. Este problema lo resolvió por primera vez el proctor, y la idoneidad de su ensayo esta acreditada por la gran difusión del mismo, ya que se utiliza prácticamente en todos los países con ligeras variantes en la normalización operativa o en las correcciones de conversión; se aplican estas con suelos de elementos gruesos, separando las partículas mayores y empleando formulas empíricas o racionales para la conversión de densidades.

El terreno de apoyo es un eslabón más, y por ello el terraplén no soportara mayores cargas que las que soporte su cimiento. Si este no tiene la suficiente capacidad soportante se podrán producir asientos, que, transmitidos a la calzada, dan lugar a ondulaciones y cuarteos que pueden causar la ruina de la obra.

Componentes de un terraplén

a) Cimiento: parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno, la que ha sido variada por el retiro de material inadecuado.

En el cimiento se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados siempre que las condiciones de drenaje o estanqueidad lo permitan, que las características del terreno de apoyo sean adecuadas para su puesta en obra y siempre que el índice CBR,

correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior al correspondiente en las especificaciones técnicas.

Antes de iniciar la construcción de cualquier terraplén, el terreno base de éste deberá estar desbrozado y limpio, esto incluye el retiro de la capa vegetal y material inadecuado, así como el drenaje del área base, necesarios para garantizar la estabilidad del terraplén. Cuando el terreno base esté satisfactoriamente limpio y drenado, se deberá escarificar, conformar y compactar, de acuerdo con las exigencias de compactación definidas en las especificaciones.

Si el proyecto considera la colocación de un geotextil como capa de separación o de refuerzo del suelo, éste se deberá tender conforme se describe la ficha técnica del producto.

b) Núcleo: Parte del terraplén comprendida entre el cimientto y la corona. El núcleo junto con el cimientto constituye el cuerpo del terraplén.

El núcleo se construye una vez que el terreno base esté adecuadamente preparado y consolidado.

El material del terraplén se coloca en capas de espesor uniforme, el cual será lo suficientemente reducido para que, con los equipos disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido. Los materiales de cada capa deben ser de características uniformes.

Antes de extender una nueva capa se debe comprobar que la subyacente cumple las condiciones de compactación exigidas, además se debe cumplir una determinada adherencia y homogeneidad de las capas.

Se debe poner especial énfasis en asegurar que contenido de humedad del material en terreno es apto para alcanzar el grado de compactación exigido en todas las capas del núcleo del terraplén. Una vez que se obtiene la humedad más conveniente, se procede a la compactación mecánica de la capa.

Muchas veces hay sectores en los que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte, no permiten el empleo del equipo que normalmente se esté

utilizando para la compactación, en este caso podemos usar otro mecanismo, siempre y cuando se cumpla con las densidades especificadas en el proyecto.

c) Espaldón: o talud, es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente, constituirá o formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural el relleno entre los que se consideran, plantaciones, cubierta de tierra vegetal, encachados, protecciones antierosión, etc.

La forma de el espaldón depende directamente del tipo de material con el que se esta trabajando.

d) Coronación: o capa subrasante, es la parte superior del terraplén, construida regularmente con un espesor de treinta centímetros, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones particulares indiquen un espesor diferente.

Por lo general, cuando se trata de una coronación de 30 cm de espesor, se construye mediante dos capas de 15 centímetro cada una. Los terraplenes siempre se construyen hasta una cota superior a la indicada en los planos, de manera que se compensen los asentamientos producidos por efecto de la consolidación y obtener la rasante final a la cota proyectada. Siempre los proyectos de caminos tienen una tolerancia hacia las variaciones de la cota final del terraplén, tolerancia que es específica de cada proyecto.

De ninguna manera se puede usar en esta zona suelos expansivos o colapsables. la coronación habrá de evitar la infiltración de agua hacia el resto del terraplén, bien por el propio tipo de material o bien mediante la utilización de medidas complementarias.

En la siguiente figura se pueden apreciar claramente las partes de un terraplén.

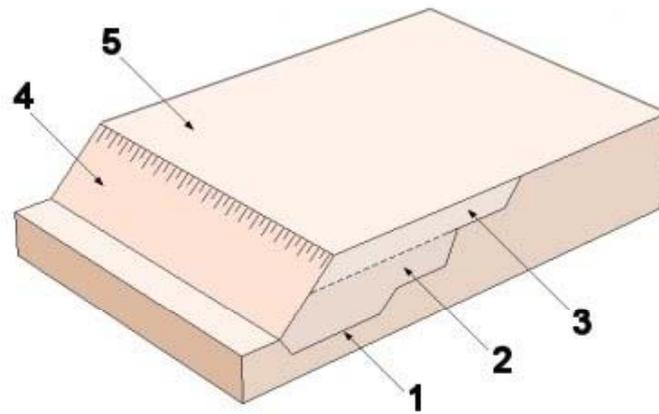


Fig. N° 5. Componentes de un Terraplén.

1. Cimiento
2. Núcleo
3. Coronación
4. Espaldón o Talud
5. Explanada.

Proceso constructivo

Por lo general la construcción de un terraplén se torna un proceso repetitivo, ya que en la mayoría de las situaciones se maneja el mismo procedimiento con algunas excepciones.

A rasgos generales el proceso comprende las siguientes etapas:

- Preparación de la superficie de asiento.
- Extensión, desecación o humectación de las tongadas.
- Compactación de cada tongada.
- Refinado de los taludes y coronación.

Además de estas etapas que son sucesivas existe la etapa de replanteo, la que se va intercalando entre las cuatro etapas anteriores.

Preparación de la superficie

Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable según el Proyecto.

La ejecución de esta operación incluye las operaciones siguientes:

- Remoción de los materiales objeto de desbroce.
- Retirado y extendido de los mismos en su emplazamiento definitivo.

La tierra vegetal deberá ser siempre retirada, excepto cuando vaya a ser mantenida según lo indicado en el Proyecto.

Extensión, desecación o humectación de las tongadas.

La primera actividad que se realiza es la de acumular el material sobre el lugar que se emplazara el camino, esto generalmente mediante un cargador frontal si el material esta cercano, o mediante camiones tolva, si se encuentra a mucha distancia.

Posteriormente se distribuye el material sobre los cimientos del terraplén, de acuerdo al ancho proyectado. Cada capa que se extiende para luego ser compactada recibe el nombre de tongada.

Compactación de cada tongada

La compactación en obra es un proceso rápido, producido por la energía y acción al moverse unas máquinas, compactadores, cuyo objetivo es proporcionar aumento de la resistencia, disminución de volumen de huecos, resistencia a la deformación.

Refinado de los taludes y coronación.

1. Coronación

Esta es una capa muy importante ya que sus capas superiores son costosas, y debe ser extendida lo más precisa posible en espesor, sin pasarse de la cota, porque cualquier desigualdad negativa en los varios Km de un tramo de carretera, representa muchas toneladas de material de la capa superior, que constituyen una partida que se gasta innecesariamente y que debe ahorrarse.

Este es un motivo económico y también hay otro técnico, porque la regularidad superficial de cada capa influye en la siguiente superior, y así hasta la rodadura, que es la que da la calidad al usuario. Interesa, pues, que la nivelación sea lo más perfecta posible.

Es recomendable para esto contar con maquinaria de última tecnología, ya que si bien la maquinaria es costosa, esta inversión se recupera con el ahorro de movimiento de material que se puede ahorrar en obras de gran envergadura.

2. Taludes de corte y terraplén

a) Estabilidad de taludes

Bajo el nombre genérico de talud denominamos a la superficie inclinada con respecto a la horizontal que adopta un terreno. Pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre (terraplén o desmonte), o naturales (laderas).

La gravedad actuará siempre como factor desequilibrante, y siempre que esté compensada con la resistencia del terreno, el talud estará en equilibrio. Por el contrario, cuando el equilibrio se rompa se producirá una inestabilidad de la masa en forma de deslizamientos, avalanchas, desprendimientos, etc.

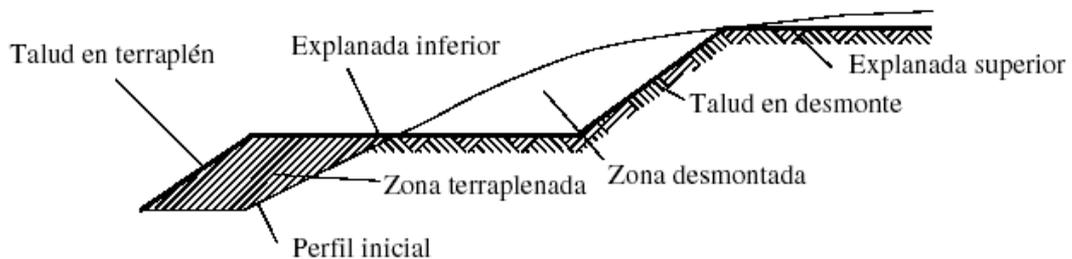


Fig. N° 6. Talud de corte y terraplén.

b) Causas de inestabilidad de taludes

Para el análisis de los movimientos de inestabilidad de un talud o una ladera es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que actúan como desencadenantes. Su conocimiento permitirá, además, definir las medidas necesarias para evitarlos o corregirlos.

Suele admitirse que los factores o las causas que producen la inestabilidad de taludes o laderas no se presentan de manera aislada, haciéndolo normalmente combinados.

c) Forma en la que fallan los taludes

Deslizamientos

Son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte de un material a lo largo de una superficie de debilidad o a través de una franja estrecha de material menos resistente que el resto.

Tienen normalmente su origen en una rotura local, ocasionándose posteriormente una general causada por la propagación de aquella. La masa, una vez producida la rotura puede deslizar a una distancia variable, solapándose con el terreno natural y marcando éste una superficie de separación bien definida.

A pesar de que el análisis de este tipo de fenómenos se realiza en dos dimensiones, la realidad es que son movimientos tridimensionales, de forma que la configuración típica de un deslizamiento es la de una concha o cuchara, de anchura aproximadamente igual a su longitud, medida ésta según el talud.

Desprendimientos

Se define como desprendimiento a toda masa separada de un talud o ladera por una superficie de corte generalmente pequeña y cuyo recorrido se realiza principalmente a través del aire. Los fragmentos originados por los desprendimientos presentan recorridos varios, pudiendo el material caer libremente, saltar, rodar, o cualquier combinación de las anteriores. En cualquier caso los materiales desprendidos se suelen depositar al pie del talud o a una cierta distancia del mismo, función de la energía alcanzada por los fragmentos en su movimiento.

Este tipo de inestabilidad afecta fundamentalmente a macizos rocosos altamente fracturados y farallones rocosos.

Flujos

Se contemplan bajo esta denominación a ciertos movimientos producidos en materiales de tipo suelo o rocas muy fracturadas, asemejándose su comportamiento al de fluidos de mayor o menor viscosidad, en función de su contenido de agua.

Movimientos Complejos

Son el resultado de la combinación de más de un tipo de los diferentes movimientos descritos en los apartados anteriores.

d) Corrección de inestabilidades

Describiremos aquí las medidas más usuales de restitución del equilibrio de taludes y laderas inestables. Con objeto de ordenarlas se han examinado cuales son las causas más frecuentes de inestabilidad, agrupando aquellas según actúen más o menos directamente sobre ellas. Así, se identifican cuatro causas principales:

- Desequilibrio geométrico (al aplicar un corte al terreno)
- Acciones externas desfavorables (acción climática)
- Aumento de las presiones intersticiales (saturación del terreno)
- Pérdida de resistencia del terreno (aplicación directa al terreno)

1. Modificación de la geometría del talud

Es la forma más frecuente de aumentar la seguridad de un talud y persigue disminuir la intensidad de las fuerzas desestabilizantes en unas zonas y aumentar la resistencia al corte del terreno en otras.

Suelen considerarse normalmente las siguientes soluciones:

- Disminuyendo la inclinación del talud
- Descabezando el talud
- Construyendo tacones de tierra o escollera, y
- Construyendo bermas intermedias

La principal ventaja de todos estos métodos es que proporcionan una solución permanente a la estabilidad del talud. En cuanto a inconvenientes, esta a veces el alto costo de su ejecución.

La modificación de la inclinación del talud suele realizarse cuando la altura de éste es mediana, digamos, hasta 10-15 m, y tiene por objetivo principal que la resistencia al corte necesaria para mantenerlo sea más pequeña. La inclinación a adoptar depende, entre otras cosas, de las características resistentes de los materiales afectados.

El descabezamiento persigue la eliminación de material de la parte superior de la masa potencialmente inestable, zona donde contribuye en mayor medida al deslizamiento y menos a la resistencia. Un aspecto muy importante en el caso de acometer el descabezamiento de un talud potencialmente inestable es el de comprobar que su ejecución no conduce a inestabilidades talud arriba, debiendo prever, en su caso, las oportunas medidas de corrección.

2. Corrección por drenaje

Buena parte de los fenómenos de inestabilidad tienen lugar, como ya se ha comentado, durante o después de lluvias y son debidos básicamente al aumento de peso debido a la saturación de la masa deslizante y a la presencia de elevadas presiones intersticiales en su interior.

En un estudio llevado a cabo en Francia en el Laboratorio de Ponts et Chaussés por un grupo de estudio de taludes, de un total de 165 taludes examinados, en más de 120 se manifestaba visiblemente el agua, mientras que en los restantes intervenía de forma no visible.

El drenaje superficial o profundo, combinados o no, será siempre, pues, una medida positiva para estabilizar un talud. Es preciso recordar que para proyectar un adecuado sistema de drenaje, del tipo que sea, es preciso conocer previamente las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la zona. En ocasiones los sistemas de drenaje son pocos o nada eficaces debido al desconocimiento previo de estas condiciones.

Dos aspectos de particular importancia, que no deben olvidarse nunca, son los de dar salida adecuada a las aguas evacuadas por los distintos elementos de drenaje y el de su periódica conservación.

3. Contención

El método se basa en aplicar al talud una fuerza resistente que contrarreste a la que desarrolla el terreno a lo largo de la superficie de deslizamiento pésima, para alcanzar un coeficiente de seguridad preestablecido.

En general este método encuentra su mejor aplicación en deslizamientos planos, pero puede conducir a obras excepcionales cuando el volumen o las fuerzas movilizadas son importantes. También se utiliza con deslizamientos curvos cuando no son aplicables métodos más baratos, como puede ser la modificación de la geometría por alguno de los sistemas que ya hemos visto.

Se emplean normalmente como sistemas de contención los anclajes y los muros.

Anclajes

Cuando el análisis de la estabilidad de un talud da como resultado un coeficiente de seguridad insuficiente, se puede aumentar éste aplicando en la superficie una o varias fuerzas, que constituyen la simplificación efectuada en el cálculo para simular los anclajes (es preciso recordar que estas fuerzas son siempre unitarias, es decir, por metro de anchura del talud). Para determinar el número de anclajes necesario, puede comenzarse introduciendo en los cálculos una única fuerza, dividiendo ésta posteriormente, si es muy elevada, en dos, tres o más fuerzas distribuidas en toda la altura del talud.

- Proporcionan una fuerza que se opone al movimiento de la masa deslizante.
- Producen un incremento de las tensiones normales en la existente o potencial superficie de rotura.

Consisten en unas perforaciones del terreno en el interior de las cuales se alojan unas armaduras metálicas a través de las cuales se proporciona la fuerza que se opone al movimiento. El espacio existente entre la armadura y la perforación se rellena posterior-

mente de mortero o de resina epoxi. Son, por tanto, válidos para ser empleados tanto en taludes de suelo como de roca.

Muros

Los muros pueden ser de tres tipos: rígidos, esto es, que entran en carga con pequeñas deformaciones, flexibles, que son capaces de soportar una gran deformación (muro de gaviones) y mixtos, que son una combinación de los dos anteriores.

Siempre que se sitúe cualquier elemento de contención de este tipo en un talud, debe garantizarse que el terreno no puede romperse ni por encima del mismo ni por debajo. Por el motivo anterior, es muy frecuente construir el muro ligeramente alejado del pie del talud y efectuar un relleno estabilizador en su trasdós.

A la hora de proyectar un muro han de efectuarse las comprobaciones ya comentadas al hablar de éstos.

Hay que recordar que la excavación al pie del talud para la construcción de un muro favorece la inestabilidad hasta que el muro esta totalmente instalado. Por eso, el mejor método de construcción es por bataches. Este método consiste en efectuar la excavación por tramos cortos alternos (del orden de 5 m de anchura), ejecutar el muro en ellos, y efectuar posteriormente las mismas fases en los tramos restantes.

No se debe olvidar un aspecto esencial para el adecuado funcionamiento del muro, el drenaje del agua situada en el intradós. En algunos tipos se produce de manera natural debido a las características de los materiales que los constituyen (muros jaula, de gaviones y de escollera). En otros es precisa la ejecución de mechinales, drenes longitudinales u otras medidas complementarias.

El mechinal es una perforación del orden de los 5 a 10 cm de diámetro que atraviesa el muro. Para garantizar un adecuado funcionamiento del mismo y evitar los arrastres del material situado en el trasdós, es corriente envolver la boca de la perforación con un material tipo grava para atraer las líneas de corriente, aunque otras veces, en lugar de esto,

se suele colocar un dren continuo de grava en toda la altura del muro con un espesor de 20 a 30 cm.

En otras ocasiones se suelen disponer drenes longitudinales a lo largo del muro, naturales (formados por un material granular tipo grava) o artificiales (tubos ranurados), en ambos casos envueltos por un material textil anticontaminante.

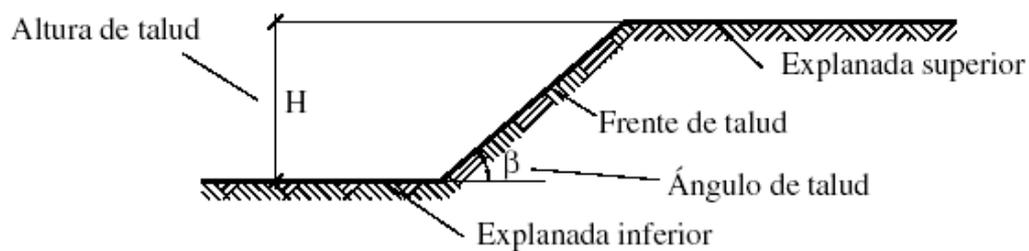


Fig. N° 7. Representación de un talud

Replanteo

En esta etapa se realiza periódicamente a medida que sube el terraplén. Después del compactado, se efectúa la toma de los perfiles de fondo.

Se hace el replanteo tomando los puntos de eje a una distancia no menor a 20 m. con su correspondiente identificación.

Se realiza el replanteo con estaquillado de los pies del terraplén con estaca de pie y otra mas, desplazada de seguridad.

De acuerdo a estos levantamientos se procede a verificar las cotas que requiere el proyecto, así como también se corrigen los volúmenes de tierra que se mueven.

Pedraplenes

Si en la traza de la carretera hay voladuras o roca escarificada, este material se aprovecha para pedraplenes. A veces el núcleo es de pedraplén y la coronación de material granular.

El extendido es mediante tractor de cadenas de tamaño mediano, en capas que pueden llegar hasta 80 - 100 cm, y excepcionalmente hasta 200 cm, utilizándose en este caso el grande.

Respecto a la granulometría se admiten tamaños máximos del espesor de la tongada siempre que queden integrados en la misma sin salir esquinas, lo cual requiere un control riguroso, y se recomienda que el tamaño máximo sea inferior a la tongada.

La arena está limitada al 30% y los finos al 10% para evitar emigraciones a los huecos y posibles asientos posteriores.

Las lajas deben ser $< 30\%$ para no dificultar la reducción de volumen de huecos de la compactación.

La descarga debe hacerse a unos 2 m del borde, empujando desde el tractor, con el fin de que no haya segregación de tamaños, al rodar más los gruesos que los otros.

Antes de las pasadas del compactador la superficie tiene que estar bien aplanada por el tractor.

La compactación se realiza con compactadores vibratorios de suelos, de tipo pesado, de 16 a 20 t., frecuencias de vibración, las más bajas posibles, y amplitudes altas, mayores de 1,6 mm.

El riego de compactación depende de la naturaleza de la roca, climatología y funcionalidad de la obra, cuanto más humedad mejor compactación. Puede variar entre un mínimo del 5 % por cuestiones de traficabilidad, hasta un 20 %, habiéndose utilizado en algún caso el agua de mar.

El control de compactación por Producto Terminado, consiste en la obtención de la porosidad "n", o el índice de huecos "e". Para ello se excava una macrocata con una retro y se carga el material en un camión, para posterior pesada.

El volumen se mide con agua, procedente de un cisterna con contador, impermeabilizando las paredes con un plástico.

También se puede hacer un control topográfico pesando los camiones que se van vertiendo y midiendo el volumen ocupado del pedraplén, obteniendo así la densidad.

Los espaldones (zona exterior ó borde) deben tener un ancho de unos 4 m, y se ejecutan en tongadas menores que el núcleo (zona interior), siendo más difícil para los compactadores llegar al borde, incluso se utilizan los más ligeros.

La macrocata es también útil para comprobar la calidad del esqueleto mineral, y la granulometría resultante, después de realizada la compactación.

Si el terraplén es de altura importante también se requiere un control de medición del asiento debido a su peso propio, el cual se realiza por topografía, oscilando entre el 0,25 – 1 % de la altura total.

Con todo este proceso ya se habrá ejecutado el núcleo del terraplén con rocas (pedraplen), luego para preparar la explanación se procede a realizar la coronación, que se ejecuta de la misma manera que en un terraplén, teniendo en consideración la mayor dificultad que presenta un núcleo construido de rocas.

Terraplenes sobre pantanos

El caso de terraplenes sobre suelos blandos (generalmente arcillosos y saturados) como pantanos se suele necesitar tratamientos del terreno, a veces muy pesados y costosos.

Aquí podemos encontrar tres problemas:

- a) De asientos y del tiempo para su consolidación.
- b) De falta de resistencia del terreno frente al deslizamiento lateral del talud del terraplén.
- c) Combinación de ambas situaciones.

Si sólo se presenta el primer problema, se puede resolver acelerando la generación de asientos instalando drenes-banda o de plástico (uno cada 1,5-2,5 m²) lo que acorta el camino drenante y permite inducir más rápidamente los asientos, sin reducirlos.

Si hay problema de falta de capacidad portante puede ser necesario llegar a instalar columnas de grava, en que, por sustitución, el terreno flojo queda “armado” por columnas de grava -compactada por vibración- de diámetro variable (de Ø 0,6 a 1,2 m), según el terreno, la energía aportada, etc. Con esto no sólo se consigue mejorar el conjunto del terreno, con lo que se disminuyen los asientos, sino que se acelera la consolidación.

Generalmente con los métodos anteriores (y sin ellos también) se emplea la precarga, en el sentido de construir el terraplén por fases (si hay problemas de estabilidad) o de una vez, sin colocar la plataforma viaria, dejando un tiempo actuar la carga (o incluso aumentándola con una sobrecarga que luego se retira), para que, al instalar esa vía, los asentamientos que experimenten sean los remanentes. Ello obliga a esperar a veces unos meses, pero téngase en cuenta que, a pesar de usar columnas de grava, en algunos casos se han registrados asentamientos de 70 a 90 cm de terraplenes de 7 a 10 m de altura, por lo que se necesita un cierto tiempo (3-6 meses) para llegar a una situación aceptable para la vía.

También puede, en estos casos (o sin esos tratamientos) reforzarse la base del terraplén con un geotextil que resista a tracción (25-35 KN/m.l.). En terraplenes de 2,5 a 3,5 m puede ser suficiente.

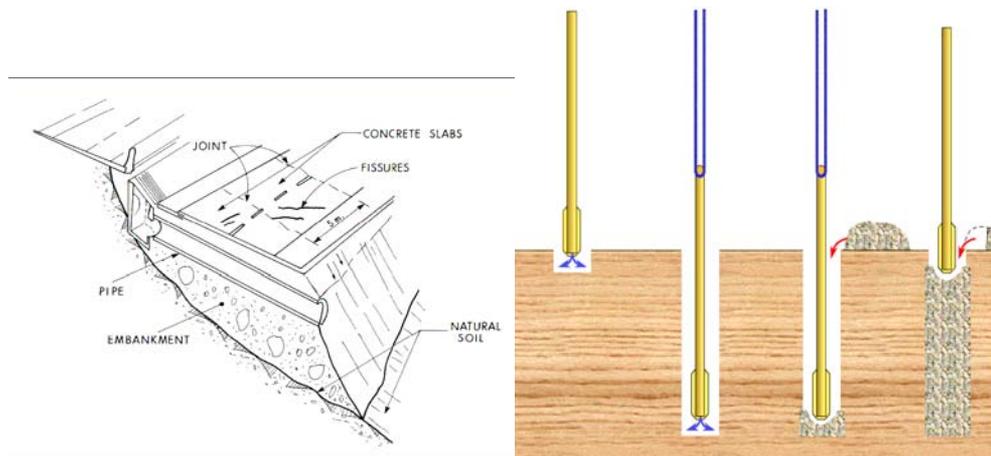


Fig. N° 8. Formación de terraplenes.

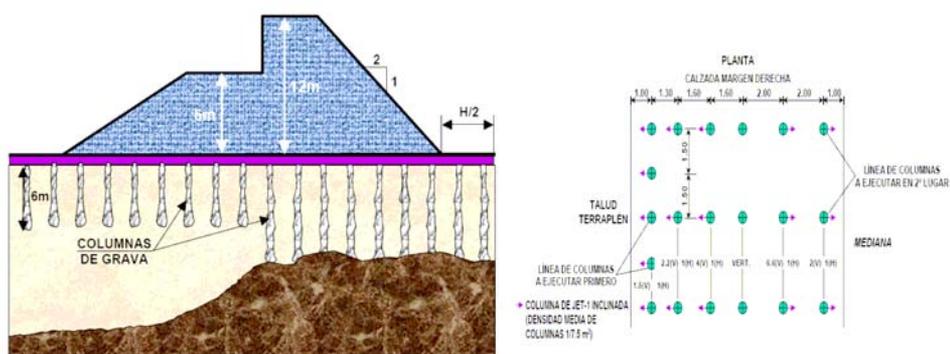


Fig. N° 9. Formación de terraplenes.

CAPITULO II : MAQUINAS Y EQUIPOS PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Las máquinas para movimiento de tierra se caracterizan por ser, en general equipos autopropulsados utilizados en construcción de: caminos, carreteras, ferrocarriles, túneles, aeropuertos, obras hidráulicas y edificaciones. Están construidas para varias funciones como son: soltar y remover la tierra, elevar y cargar la tierra en vehículos que han de transportarla, distribuir la tierra en capas de espesores controlados, y compactar la tierra. Sin embargo algunas máquinas pueden efectuar más de una de estas operaciones.

Los diversos tipos de suelos que son considerados en el movimiento de tierras pueden variar desde roca sólida hasta tierra sola, pasando por todas las combinaciones de roca y tierra.

Así los diferentes tipos de materiales ofrecen diferente resistencia para ser movidos, dependiendo del peso del material, dureza, rozamiento interno y cohesión. Se tiene que una menor resistencia de remoción implica una mayor facilidad de carga, siendo ésta última fundamental en la elección del equipo o tipo de maquinaria a utilizar.

La clasificación podría ser la siguiente:

- En roca: es necesario utilizar explosivos.
- En terreno duro: uso de explosivos o ripado.
- En terreno de tránsito: término poco definido, en general se puede excavar por medios mecánicos, pero no a mano.
- En tierras: se puede excavar a mano.
- En fangos: es necesario emplear medios especiales de transporte o hacer una desecación previa.

Los puntos a tener en cuenta para seleccionar el equipo de transporte son: Recorrido, distancia, pendientes y curvas, material a transportar, producción requerida y equipo de carga disponible.

2.1 Clasificación y Tipos de Maquinarias.

Se puede clasificar la maquinaria de excavación y movimiento de tierras, atendiendo a su traslación, en tres grandes grupos.

Maquinas que excavan y trasladan la carga.

- Tractores con hoja empujadora.
- Tractores con escarificador.
- Motoniveladoras.
- Mototraíllas.
- Cargadoras.

Son máquinas que efectúan la excavación al desplazarse, o sea, en excavaciones superficiales. La excepción es la cargadora, que cuando excava es en banco, pero luego se traslada con la carga, aunque la aplicación normal de ésta máquina es para cargar material ya excavado o suelto.

Maquinas que excavan, situadas fijas, sin desplazarse.

Realizan excavaciones en desmontes o bancos. Cuando la excavación a realizar sale de su alcance, el conjunto de la máquina se traslada a una nueva posición de trabajo, pero no excava durante este desplazamiento.

El desplazamiento necesario entre el órgano de trabajo (hoja, cuchara, cazo, cangilón, etc.) se efectúa mediante un dispositivo cinemático que modifica la posición relativa de este órgano de trabajo y el cuerpo principal de la máquina. En este grupo se encuentran:

- Excavadoras hidráulicas con cazo o martillo de impacto.
- Excavadoras de cables. Dragalinas.
- Excavadoras de rueda frontal.
- Excavadoras de cangilones.
- Dragas de rosario.
- Rozadoras o minadoras de túnel.

La excavación se efectúa empleando otros dispositivos, siendo su campo de aplicación generalmente más limitado.

- Topos: La presión sobre el terreno se logra mediante el desplazamiento del cabezal de la máquina y el desgarramiento del mismo por un órgano dotado de movimiento rotativo.
- Dragas y bombas de succión: El material (arenas, limos) es arrastrado formando una emulsión por una corriente de agua que es aspirada por una bomba, que puede impulsarla por una tubería.
- Dardos y chorros de agua: A gran presión, utilizan la energía cinética y el efecto de disolución del agua para atacar y remover materiales disgregables.
- Fusión térmica: Se utilizan productos que rebajan el punto de fusión y permiten la perforación y corte de rocas. Se emplea para corte y perforación de rocas y hormigón en circunstancias especiales.

2.2 Ventajas y Limitaciones de las distintas Maquinas.

La selección del tipo de máquina para carga, depende de los materiales, así como de las circunstancias que concurren en la carga.

- Las cargadoras necesitan materiales a granel y que no precisen excavación, tierras fácilmente excavables y cargables, rocas sueltas, etc. debiendo realizarse la carga en terreno firme con las de neumáticos y en terrenos encharcados o con barro con las de cadenas.
- Las retroexcavadoras de cadenas pueden realizar su trabajo en terrenos difíciles, encharcados, con malos accesos y salidas (zanjas, barrancos) y con una base de trabajo irregular. También para aquellos trabajos que requieran gran altura de carga y corte, y donde el pavimento sea malo para los neumáticos. Las retroexcavadoras de neumáticos por su movilidad pueden considerarse más como urbanas y auxiliares.
- Las excavadoras de empuje frontal eléctricas pueden utilizarse cuando además de concurrir las condiciones anteriores, hay facilidad para utilizar una línea eléctrica (Las grandes cargadoras exigen motores eléctricos y se necesita tender una línea: minería, fábricas de cemento).

- Dragalinas; para el movimiento de materiales encharcados o fangosos, con frentes de trabajo blandos que no soportan el peso de las máquinas convencionales.

MÁQUINA	APLICACIÓN	ALCANCE, OBSERVACIONES
Tractor, cadenas	Sólo arranque y extendido	~ 15 m
Retroexcavadoras	Arranque y carga	~ 10 m
Traílla	Corte + Descarga + Acarreo + Extendido	~ 20 m
Cargadora	Cargar Complemento de un equipo	3 – 5 m
Motoniveladora	Extendido – nivelación Mantenimiento de pistas	~ 10 m
Dragalina	Arranque – dragado Limpieza cauces en zonas húmedas y blandas	~ 30m Donde se hundan tractor y retros.

Tabla N° 1. Principales características de maquinarias fundamentales en movimientos de tierra.

2.3 Elección de la Maquinaria.

Deben tenerse en cuenta como requisitos previos los siguientes:

- Cumplir la producción requerida.
- Que se adapte y sea flexible a las condiciones presentes y futuras de operación.
- Que provoque una organización lo menos costosa y complicada posible.
- Que tenga una fiabilidad suficiente.
- Que tenga asegurado por el fabricante, para un cierto tiempo de su vida, asistencia técnica y repuestos (Servicio postventa).

En la elección de las máquinas es importante la nueva doctrina del Aseguramiento de la Calidad. Esto se refiere a que el fabricante haya conseguido por algún organismo la certificación de sus sistemas de calidad. Esta certificación de calidad puede cubrir también

otros aspectos muy necesarios para el usuario como son los servicios postventa.

Los criterios económico-financieros para la elección de una máquina, pueden resumirse de la siguiente forma:

CRITERIOS GENERALES DE ELECCION DE UNA MAQUINA	POR PRODUCCION	m ³ ó t/h	
	ECONOMICOS (Por costo)	Pts/m ³ ó t	
	FINANCIEROS	COMPRA LEASING	INVERSION
			AMORTIZACION
		ALQUILER	
SUBCONTRATACIÓN DE LA UNIDAD DE OBRA			

Tabal N° 2. Criterios generales de elección de una máquina.

2.4 Equipos de Remoción.

Se llaman equipos de remoción a aquellos capaces de nivelar, desmontar o bien extraer material necesario para ejecutar un terraplén.

Tipos de Maquinarias de Remoción:

- **El Bulldozer.**

Los bulldozer son tractores dotados de una cuchilla frontal rígidamente unida a él, que forma un ángulo de 90° con el eje del tractor. La cuchilla tiene movimiento vertical.

Sus principales funciones son el empuje y corte de material (suelo), es el equipo mas utilizado en las labores de corte, extracción de materiales y extendido de tierras y árido. Otro uso de este equipo es la remoción de la capa vegetal, limpieza, desmonte, destronque de áreas.

La distancia óptima de trabajo es hasta 100 m y velocidad hasta 10 Km/h montado sobre orugas y hasta 25 Km/h montado sobre neumáticos



Fig. N° 10. Bulldozer

Existen tractores de orugas y de ruedas:

- **Tractor de Orugas (Bulldozer).**

Características de tractores de orugas (bulldozer).

Chasis rígido.

Velocidades máximas de entre 7 y 15 km/hr

Potencias de entre 140 y 770 HP.

Transmisiones mecánicas.

Pesos en servicio de entre 13,5 y 68 t.

Capacidad de remontar pendientes de hasta 45°.



Fig. N° 11. Tractor de oruga

- **Tractor de Ruedas (whelldozer).**

Características de tractores de ruedas (whelldozer)

Chasis articulado con ángulos de 40° a 45°.

Tracción en las cuatro ruedas.

Velocidades máximas de desplazamiento de entre 16 y 60 km/h.

Potencias de entre 170 y 820 HP.

Transmisiones mecánicas o eléctricas. Pesos en servicio de entre 18,5 y 96 t.



Fig. N° 12. Tractor de ruedas

Componentes de los tractores:

1. Chasis: Soporte sobre el que van montados todos los elementos de la máquina. Está constituido de acero de alta resistencia, especialmente diseñado para los grandes esfuerzos que implican empujar y escarificar.

2. Motor: Los motores de los tractores son, generalmente, motores diésel turboalimentados. Están montados en la parte delantera, consiguiéndose una mayor componente vertical sobre las hojas de empuje y un mayor equilibrio al disponer de la parte posterior.

3. Transmisión: Las transmisiones que usan los grandes tractores (sobre 100 HP de potencia) son de dos tipos, hidrostáticas e hidrodinámicas.

Transmisión hidrostática: Transmite la potencia entre el volante y los mandos finales a través de la presión de aceite hidráulico en lugar de hacerlo mecánicamente a través de los componentes del tren de potencia. Este sistema de transmisión permite el control variable de la velocidad, una óptima adecuación entre la tracción a la barra de tiro y la velocidad de desplazamiento, un máximo aprovechamiento de la potencia y una mayor maniobrabilidad mediante virajes a plena potencia y contrarrotación de cadenas.

Transmisión hidrodinámica: En este tipo de transmisión existe un convertidor de par que proporciona la multiplicación de par y características de adaptación automática a las cargas en condiciones de trabajo duras. El convertidor consta de un impulsor conectado al volante del motor, una turbina conectada a un eje de salida y un estator. El fluido del convertidor transmite la potencia, y el estator, al dirigir, a su vez, el aceite hacia los alabes del impulsor, multiplica el par. En todas las máquinas, el enfriador de aceite controla la temperatura del aceite del convertidor de par, obteniéndose así mayor duración en condiciones extremas.

4. Tren de rodaje: Es el conjunto de piezas que sirve para el desplazamiento y el sustento del tractor. Existen dos diseños básicos: uno llamado convencional o semirrígido y uno elástico.

El tren de rodaje semirrígido esta constituido por:

- **Bastidor soporte de rodillos de sustentación o larguero:** Que corresponde al elemento que soporta fuertes tensiones. Es de construcción robusta, con perfiles de acero.
- **Ruedas guía:** Tienen por objetivo guiar y atirantar las cadenas, que van colocadas en la parte delantera del larguero. Se utilizan ruedas guías de doble disco, las que llevan en su parte central una pestaña o una guía ancha que sobresale y ajusta entre los eslabones de la cadena.
- **Ruedas cabillas:** Ruedas motrices que sirven para mover las cadenas. Están situadas en la parte posterior de las máquinas, acopladas al eje de salida de los mandos finales.
- **Rodillos:** Situados en la parte superior del bastidor, son el soporte del peso de la oruga, y los de la parte inferior son los que aguantan el peso de la máquina. Los rodillos giran libremente sobre su eje, y la lubricación es permanente.
- **Zapatas o tejas:** Elementos del tren de rodaje que sustentan la máquina y que ayudan a la tracción. Son de acero tratado para que ofrezca alta resistencia al desgaste en el exterior y al impacto en el interior.

5. Hoja de empuje: Esta es una hoja metálica instalada en la parte delantera del tractor, mediante la cual se aplica el esfuerzo de empuje sobre los materiales que se desean remover. La hoja está sustentada por dos brazos de empuje, los que se articulan por el lado exterior de las orugas, sobre el bastidor de cadena. Los brazos están suspendidos por dos cilindros hidráulicos, generalmente fijados a la coraza delantera del bastidor de la máquina. Las hojas de empuje pueden realizar los siguientes movimientos:

- Inclinación lateral.
- Variación del ángulo de ataque de la hoja.
- Variación del ángulo de la hoja respecto de la dirección de avance.
- Elevación y descenso de la hoja.

Existen diferentes tipos de hojas:

Hoja recta: aconsejada para trabajos de empuje en general, especialmente en aquellos que requieren pasadas cortas o de media distancia. Es la de mayor versatilidad y capacidad para trabajos en roca.

Hoja universal o en u: usada para el empuje de grandes volúmenes de material a largas distancias. Por esto, la curvatura de los extremos de la hoja impulsa el material hacia el centro de la misma, disminuyendo los derrames laterales.

Hoja angulable: diseñada para empujar el material lateralmente, para lo cual puede situarse en el bastidor de los brazos con ángulos de 25° a la derecha o izquierda respecto de la dirección del tractor.

Hoja de empuje amortiguado: se trata de una hoja de poco ancho, lo que le otorga mayor maniobrabilidad al tractor en su labor de empuje.

6. Ripper: El ripper o escarificador está formado por un bastidor situado en la parte posterior del tractor, en el cual se fijan uno o varios vástagos o rejonos. Mediante cilindros hidráulicos, los brazos se pueden descender, clavándolos en el suelo, y de esta forma, al ser arrastrados por el tractor, producir profundos surcos que permiten fragmentar y esponjar los materiales rocosos. Los rippers tienen tres tipos de diseños básicos:

Tipo bisagra o articulado: Formado por un bastidor que pivota alrededor de un punto situado en la parte posterior del tractor. El ángulo máximo de giro es de 30 grados.

Tipo paralelogramo articulado: Con un ángulo de ataque de 50 grados, tiene una profundidad de ripado independiente del ángulo que el vástago forma con el terreno.

En forma de paralelogramo variable articulado: En que el ángulo de ataque se controla mediante el accionamiento de otros dos cilindros hidráulicos, además de los de elevación y empuje.

Palas Excavadoras y Cargadoras.

Son máquinas compuestas de un bastidor montado sobre orugas o neumáticos y una superestructura giratoria dotada de un brazo con cuchara, accionado por mando hidráulico o por cables.

- Pala Cargadora.

Las palas cargadoras son máquinas sobre orugas o neumáticos, accionadas por mando hidráulico, es el equipo que se utiliza para el carguio de materiales, escombros para ser

depositados en los camiones para el bote de los mismo. Hay quienes le dan otro uso, por ejemplo, el regado de arena o gravilla sobre superficies, excavaciones o extracciones en materiales de consistencia blanda. El uso correcto de estos equipos es para el carguio de materiales.



Fig. N° 13. Pala cargadora WA700-3 de Komatsu

- Pala Excavadora.

Se utilizan para excavar en frentes de trabajo de cierta altura y realizan los movimientos siguientes: excavación de abajo hacia arriba, giro horizontal y descarga de la cuchara, giro horizontal de regreso al frente de trabajo.

Las excavadoras más potentes son las giratorias sobre ruedas. Las máquinas giratorias también se pueden desplazar sobre orugas, con lo cual pueden aumentar substancialmente su potencia, también se incrementa su versatilidad para desplazarse por terrenos abruptos.

Existen varios tipos: por su forma de locomoción pueden clasificarse en excavadoras sobre orugas, y sobre neumáticos o llantas.



Fig. N° 14. Pala Excavadora montada sobre llantas.



Fig. N° 15. Pala Excavadora montada sobre orugas.

- Retroexcavadora:

Este se utiliza principalmente para excavar debajo de la superficie natural del terreno sobre el cual descansa la maquina, para las labores de excavación, carguio de materiales en condiciones especificas. Muy utilizada para la excavación de zanjas de acueductos, zanjas de drenaje, ya que puede ir desplazándose longitudinalmente y sobre la zanja, al mismo tiempo que va moviéndose en reversa, va sacando material y va colocándolo sobre los camiones o en los laterales por el gran alcance que tiene en el brazo que sostiene. Este equipo es muy usado en la construcción de los canales de entrada o salida de las alcantarillas.



Fig. N° 16. Pala excavadora y cargadora combinada.

2.5 Equipos de Conformación.

- Motoniveladoras:

Es uno de los equipos más versátiles conocidos. Su principal uso es en la distribución y nivelación de rellenos o terraplenes. También se usa en la escarificación de superficies y en la conformación de cunetas. A veces se utiliza este equipo para la realización de excavaciones de poca profundidad en la calzada de calles y también en la remoción de capas de rodadura y material de base.

La función principal de la motoniveladora es la nivelación del terreno, moviendo pequeñas cantidades de tierra a poca distancia.

Los trabajos más habituales de una motoniveladora son los siguientes:

Extendido de una hilera de material descargado por los camiones y posterior nivelación.

Refino de explanadas

Reperfilado de taludes.

Excavación, reperfilado y conservación de las cunetas en la tierra.

Mantenimiento y conservación.



Fig. N° 17. Motoniveladora.

Importante: Las motoniveladoras no son máquinas para la producción, sino para realizar acabados, ya sea nivelación y/o refino.

Componentes de la Motoniveladora:

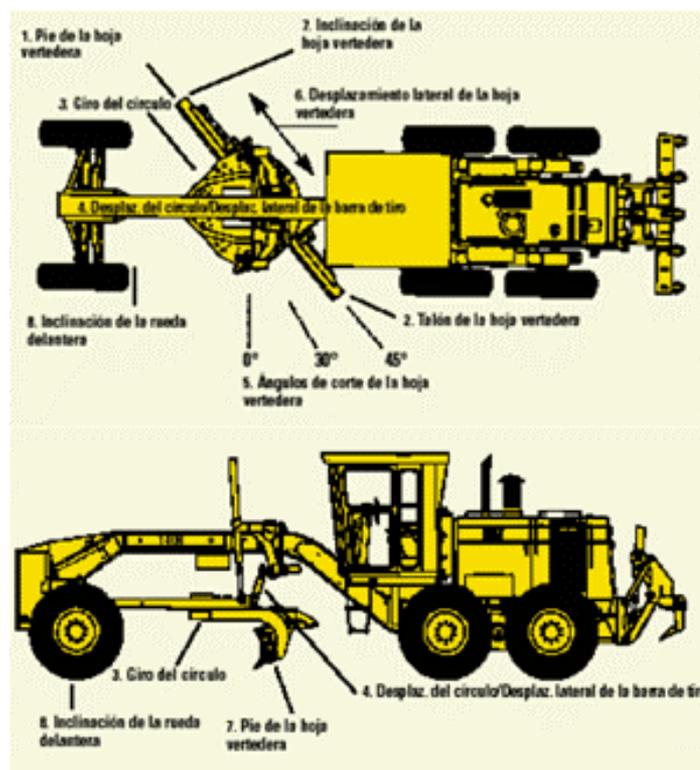


Fig. N° 18. Partes de una motoniveladora.

1. Pie de la hoja vertedera: Es el extremo más adelantado de la hoja en relación con el sentido de marcha. Es, generalmente, el extremo que está más próximo a las ruedas delanteras de la máquina.

2. Talón de la hoja vertedera: Es el extremo más retrasado de la hoja en relación con el sentido de marcha. Es, generalmente, el extremo que está más próximo a las ruedas de la máquina.

3. Giro del círculo: Permite una rotación de 360 grados del círculo y la hoja vertedera para adaptar el ángulo de la hoja al tipo de material o características de la aplicación. El ángulo de la hoja es muy importante porque permite que el material ruede a lo largo de ella, aumentando la productividad de la motoniveladora.

Normalmente, una motoniveladora desplaza el material de un lado al otro del área que se está nivelando, en vez de empujarlo hacia adelante. Este desplazamiento del material por rodadura de un lado a otro de la hoja, hasta su vertido lateral, requiere menos potencia del motor que si tuviera que ser empujado. Para conseguir esta acción de rodadura hay que hacer uso simultáneamente de varias de las posibilidades de la máquina, como el giro del círculo, el desplazamiento lateral de la barra de tiro y la inclinación de la hoja vertedera. (Se dispone, como opción, de un embrague deslizante ajustable para proteger el mando del círculo de las altas fuerzas horizontales que se producen en las aplicaciones severas.)

Características del funcionamiento:

Desplazamiento del círculo / Desplazamiento lateral de la barra de tiro.

Esta característica permite desplazar lateralmente, respecto del bastidor principal, el conjunto formado por el círculo y la barra de tiro para situar la hoja vertedera y dejarla en condiciones de realizar aplicaciones especiales, como son la conformación de taludes altos, conseguir máximo alcance lateral y obtener los ángulos de corte deseados para el vertido del material fuera de la hoja, y también puede utilizarse para aumentar la visibilidad sobre el talón de la hoja vertedera.

Ángulos de corte de la hoja vertedera.

Se considera que el ángulo de corte de la hoja vertedera es de 0 grados cuando la hoja forma un ángulo recto con el bastidor principal. Esta es la posición que se utiliza normalmente para empujar el material hacia adelante a distancias cortas. Los ángulos de corte menores de 10 a 30 grados se utilizan normalmente con materiales ligeros muy fluidos. Y los ángulos de corte entre 30 y 50 grados se emplean con materiales húmedos y pegajosos, trabajos de mezcla con montones de materiales grandes, limpieza de cunetas y muchas otras aplicaciones.

La mayor parte de los trabajos que realiza una motoniveladora se efectúan con ángulos de corte de 10 a 45 grados.

Para que el vertido de material sea continuo, el ángulo de la cuchilla tiene que ser mayor cuando la máquina trabaja en sentido inverso a la pendiente y menor cuando trabaja a favor de la pendiente. Para lograr la máxima duración de la cuchilla de ataque en los trabajos de conservación de carreteras se debe mantener un ángulo de inclinación casi constante. En este tipo de aplicaciones, los cambios frecuentes de inclinación aceleran el desgaste de la cuchilla de ataque.

Desplazamiento lateral de la hoja vertedera.

Esta característica permite que la hoja se desplace lateralmente en relación con el conjunto del círculo para aumentar el alcance lateral, trabajar junto a objetos fijos y otros muchos usos.

Inclinación de la hoja vertedera.

Es una característica muy importante que utilizada correctamente aumenta la productividad de la máquina y evita que pueda sufrir daño. La parte superior de la hoja puede inclinarse hacia adelante o hacia atrás de la cuchilla de ataque. Esto le permite a la cuchilla de ataque adoptar el ángulo más adecuado para conseguir los efectos de corte.

2.6 Equipos Mixtos de Remoción y Transporte.

- **Bulldozer:** (se hablo de el en la sección pasada).

- **Mototrailla:**

Este equipo es para trabajos de grandes volúmenes de movimiento de tierra es de uso muy económico, ya que puede cargar, transportar y rellenar a altas velocidades. En algunos casos se utiliza un tractor para ayudar durante el proceso de carga, ya que esto hace que se acorte el tiempo que utiliza este equipo para cargarse. Este equipo se usa para el corte y acarreo de material cuya distancia es muy larga para ser hecha con tractor y muy corta para ser realizada con un tractor, cargador y camión.

La velocidad oscila entre 30 y 60 Km/h, dependiendo de las circunstancias de la vía.



Fig. N° 19. Motoniveladora de la gama CHAMPION GRADERS de VOLVO.

2.7 Equipos de Compactación.

Las apisonadoras son máquinas autopropulsadas de 2 ó 3 rodillos, que se emplean en la compactación de tierras con espesores de 20-30 cm. Su peso varía de 5 a 15 t y la velocidad de trabajo entre 2 y 10 Km/h.

La maquinaria vibrante pueden ser apisonadoras autopropulsadas o rodillos vibrantes remolcados por tractor, pisones manuales, planchas o bandejas vibrantes, etc. Puede compactar adecuadamente gravillas, arenas y, en general, terrenos con poco o ningún aglomerante, en espesores hasta 25 cm. No son aptos para terrenos arcillosos.



Fig. N° 20. . Compactadoras BITELLI TIFONE C120: de rulo, y de pata de cabra.

- Rodillo Compactador.

Los compactadores de neumáticos pueden ser autopropulsados o remolcados, con suspensión independiente en cada rueda, lo que asegura una buena compactación. Todos los neumáticos deben llevar la misma presión y su velocidad oscila entre 10 y 24 Km/h.



Fig. N° 21. Rodillo compactador.

- Rodillo Pata de Cabra.

Los rodillos pata de cabra son máquinas remolcadas por tractores de pequeña o mediana potencia, que pueden ser normales o vibrantes, y que se utilizan para la compactación de terrenos con excepción de arenas, gravas y piedra partida. Disponen de depósitos para lastre, que pueden estar vacíos o llenos de agua o arena, lo que permite aumentar la presión que transmiten al terreno.



Fig. N° 22. Compactadora LEBRERO de pata de cabra.

2.8 Equipos de Transporte.

- Cargador frontal.

Estos equipos se utilizan para remover tierra relativamente suelta y cargarla en vehículos de transporte, como camiones o dumper. Son generalmente articulados para permitir maniobras en un espacio reducido.



Fig. N° 23. Cargador frontal sobre llantas.

- Camiones y Dumpers:

Su uso es el transporte de los materiales a un destino especificado. Existen camiones de diferentes capacidades de volumen para cubrir con las diferentes necesidades. La capacidad de un camión y el número de unidades necesarias están condicionados a la producción de los cargadores.

El transporte de material excavado a vertedero o al lugar de empleo es muy usual en las obras. Esta operación comprende el transporte de tierras sobrantes de la excavación a vertedero, o bien el transporte de las tierras necesarias para efectuar un terraplén o un relleno. El transporte de tierras a vertedero puede formar una unidad única con la excavación en desmonte y el transporte de tierras para pedraplén suele estar incluido en la unidad de terraplén compactado, especialmente cuando esta unidad se realiza con bulldozer o traíllas.

Tanto camiones como dumper son medios de transporte para largas distancias, con una serie de peculiaridades. Mientras los primeros no pasan de un peso de 13 toneladas por eje (pueden circular por carreteras convencionales), los segundos no. Los segundos, además de su gran capacidad, tienen un diseño especial que los compatibilizan para soportar cargas bruscas, terrenos accidentados, etc.



Fig. N° 24. Dúmpfer Terex serie TR60

CAPITULO III: NUEVAS TECNICAS DE GUIADO DE LA MAQUINARIA DE MOVIMIENTO DE TIERRA.

3.1 Control de Maquinarias.

Control de maquinarias comprende sistemas que permiten obtener un acabado rápido y preciso para proyectos de Construcción, Obras Viales y Movimiento de tierra sin necesidad de estacado.

Con aplicaciones para todo tipo de maquinaria como; Asfaltadota, Motoniveladora, Buldózer, Excavadora, Cargador Frontal, etc. Los sistemas de Control de Maquinaria utilizan diferentes tecnologías para cada una de las aplicaciones que se requiera. Tecnología Ultrasonido para construcción de carreteras, pavimentaciones y pisos de aeropuertos; Tecnología Láser para obras de movimiento de tierra masivo, construcción de plataformas, embalses y excavaciones; Tecnología de sistemas de seguimiento automático (AST: automatic tracking systems) utilizado tanto para construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentaciones y movimiento de tierra en general; y tecnología GPS de control tridimensional para todo tipo de construcción, excavaciones con terminación de taludes, obras viales, obras portuarias, etc.

3.2 Sistema de Control de Maquinaria con Tecnología Ultra Sonido.

Con aplicaciones para obras viales, aeropuertos y construcción de plataforma; estos sistemas permiten el control automático de Motoniveladora, Asfaltadotas y Perfiladoras de Asfalto.

Un sistema de Tecnología Ultra Sonido instalado en la maquina sigue la referencia de una lienza instalada en terreno, a un costado o en el eje del camino; sensores de pendiente permiten controlar la inclinación transversal de la hoja con la finalidad de definir el diseño de la obra en cuanto se refiere a peraltes y bombeo.

Este sistema se acopla al circuito hidráulico para el control automático de la maquinaria, de esta forma el operador centra todo su atención solamente en la conducción,

mejorando las condiciones riesgosas, evitando el cansancio y aumentando la productividad del equipo. Las precisiones obtenidas son del orden de 1 mm en las capas terminadas de asfalto.

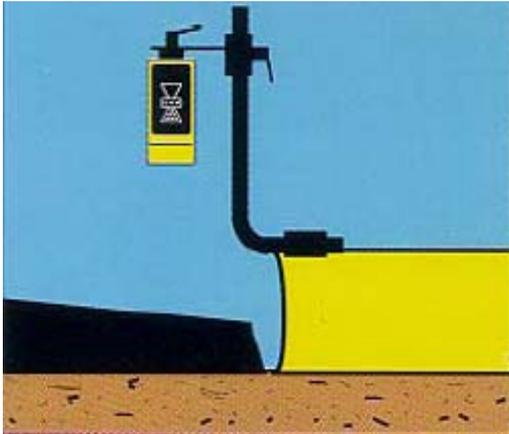


Fig. N° 25. Sistema Ultrasonido referido a un Pavimento existente.

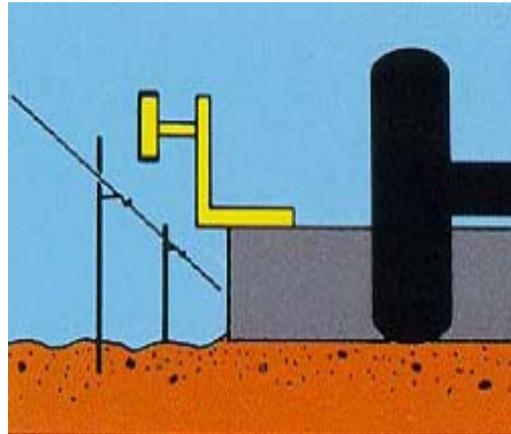


Fig. N° 26. Lienza de referencia para Sistema Ultrasonido.



Fig. N° 27. Motoniveladora con Sistema Ultrasonido siguiendo la referencia de la lienza.



Fig. N° 28. Asfaltadota con Sistema Ultrasonido con referencia a la pasada anterior.

3.3 Sistemas de Control de Maquinaria con Tecnología Láser 2D.

Aprovechando las propiedades físicas de la luz láser es posible obtener un plano altamente estable y preciso que permite controlar un determinado número de maquinaria en un área de 64 hás. (450 mts de radio).

El control de las maquinarias se logra a través de un emisor láser que genera el plano y dispositivos de recepción instalados en cada una de las maquinas que permiten interpretar la señal recibida.

El emisor láser puede generar un plano completamente horizontal (pendiente nula), plano con una inclinación (pendiente simple), o un plano con doble inclinación (doble pendiente). El alcance horizontal del emisor láser es de 450 m de radio, y el alcance de pendiente es de -10% a + 110%. Las precisiones del equipo emisor es de ± 1.2 mm a 30 m, vale decir 1.5 cm a 420 m aproximadamente.

En la maquina, el dispositivo láser instalado puede ser de tipo indicativo, en donde el operador es quien interpreta la señal del láser y realiza las correcciones necesarias de subir o bajar la herramienta de corte de la maquina; o bien, de tipo automático que se conecta directo al circuito hidráulico de la maquina para que las correcciones sean realizadas de forma automática e instantánea.

En el diagrama siguiente se observa el sistema de control de maquinaria con tecnología láser, se puede apreciar un emisor láser al centro entregando un plano de referencia continuo y estable a cada una de las maquinas que operan en el sector. Estas maquinas, pueden estar trabajando todas en el mismo plano o también pueden encontrarse en distintas etapas del proyecto, como por ejemplo, pensando en la construcción de una plataforma para una pila de lixiviación; el buldózer esta en la etapa de enrasado del material o superficie, la motoniveladora en terminaciones en donde se necesita una mayor precisión, y la excavadora se encuentra construyendo una zanja perimetral colectora.

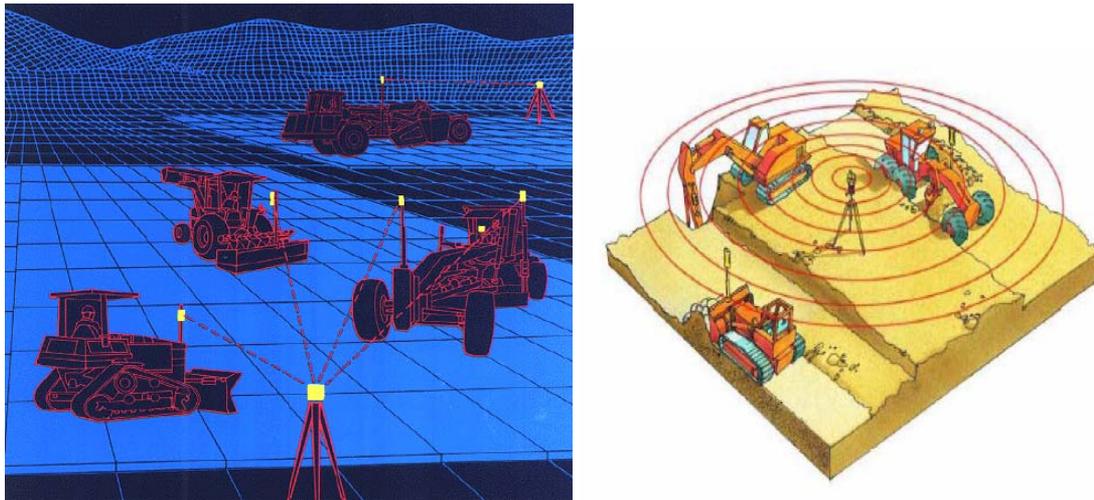


Fig. N° 29. Esquema Control de Maquinaria.

Sistema de Indicación Láser.

Los sistemas de tipo INDICATIVO consisten en un nivel de rotación láser encargado de generar un plano altamente estable y preciso con un alcance de hasta 450 m de radio y puede ser horizontal o con pendientes de hasta 110%; en la maquina (Bulldozer, Cargador Frontal, Excavadora) se instala un dispositivo que recibe la señal láser y la transforma en información útil para el operador, de tal forma que pueda realizar las correcciones en forma tradicional para mantener el borde cortante de la maquina en el nivel deseado.

De fácil y rápida instalación estos sistemas permiten el intercambio de una maquina a otra sin complicaciones. Los sistemas pueden ser autónomos con baterías alcalinas o conectarse vía cable a la fuente de poder de la maquina.

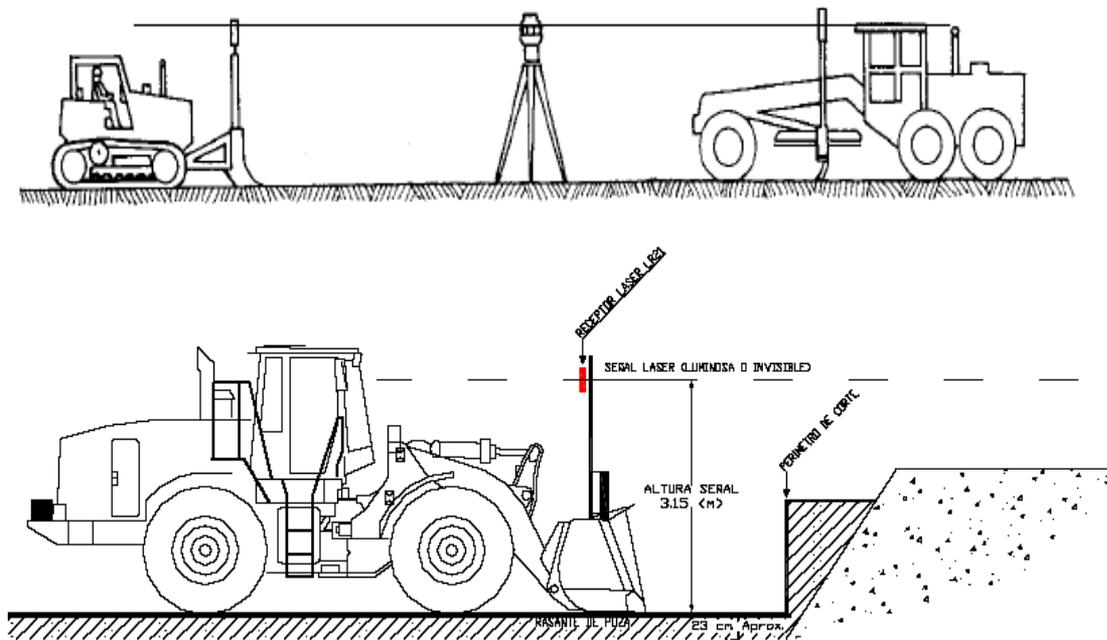


Fig. N° 30. Diagrama de operación para Cargador Frontal.



Fig. N° 31. Cargador Frontal con Sistema de Control Indicativo.

Sistemas Láser Automáticos.

Los sistemas AUTOMATICOS funcionan bajo el mismo principio del sistema anterior; la diferencia radica en que la herramienta de corte de la maquina es controlada de forma automática al conectar el sistema con el circuito hidráulico. El dispositivo de recepción láser recibe la señal proveniente del emisor y la transforma en señales eléctricas que son enviadas al computador central del sistema, este se encarga de distribuir la información de salida hacia una pantalla en la cabina del operador y también hacia el sistema hidráulico de la maquina con

la finalidad de mantener el borde cortante a la referencia definida por el nivel láser. El sistema láser reemplaza al estacado que se realiza en las labores de construcción y movimiento de tierra con métodos convencionales, y permiten obtener precisiones de hasta ± 0.8 cm a 100 metros.

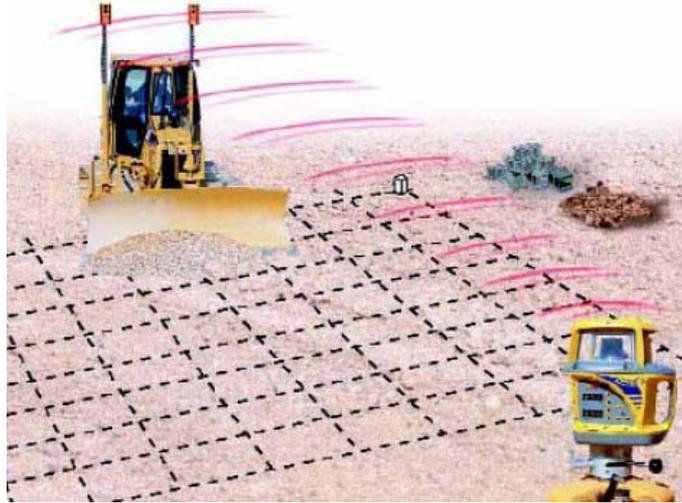


Fig. N° 32. Operación del láser.



Fig. N° 33. Sistema Láser automático para Bulldozer; configuración de un mástil instalado en el centro de la hoja de corte para control de pendiente simple.



Fig. N° 34. Sistema Láser automático par Bulldozer; configuración de dos mástiles instalados uno en el centro y el otro a un costado de la hoja de corte para control de doble pendiente.



Fig. N° 35. Sistema Láser automático par Motoniveladora; configuración de un mástil instalado en un extremo de la hoja de corte para control de pendiente longitudinal y un sensor para controlar la pendiente transversal.



Fig. N° 36. Sistema Láser automático para Motoniveladora; configuración de dos mástiles instalado en cada extremo de la hoja para control de pendiente longitudinal y transversal.

3.4 Sistemas de Seguimiento Automático o AST (Láser 3D).

Este sistema permite un control tridimensional de la maquina, de tal forma se puede ingresar el proyecto a construir con los limites planimetritos y de elevación, además de los detalles.

Bajo el mismo modo de operaciones del sistema láser, el sistema AST utiliza un equipo de Estación Total Servo asistida como emisor. En esta estación se ingresan las coordenadas del proyecto (x, y, z) y mediante un sistema de comunicación radial se conecta con el sistema instalado en la maquina.

En la maquina se instala un sistema de recepción que consiste en un prisma conectado al circuito hidráulico de la maquina. La estación total “engancha” el prisma y lo sigue en forma continua corrigiendo la posición de la hoja automáticamente y de forma inmediata. Un sistema de radio permite la comunicación entre la estación total y el sistema de la maquina para realizar dichas correcciones.



Fig. N° 37. Sistema de seguimiento automático para Motoniveladora. Control tridimensional.



Fig. N° 38. Sistema de seguimiento automático (AST) para Bulldozer. Control tridimensional.

CAPITULO IV: CONTROL DE MAQUINARIA CON TECNOLOGIA GPS.

4.1 ¿Qué es el GPS y como se funciona?

El Global Position System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (más conocido con las siglas GPS aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS1) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se le atribuye a los gobiernos franceses y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.



Fig. N° 39. Satélite NAVSTAR GPS

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o las coordenadas reales del punto de medición.

También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

Funcionamiento

1. La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides (5 parámetros orbitales Keplerianos), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de efemérides de toda la constelación se completa cada 12 min y se guarda en el receptor GPS.
2. El receptor GPS funciona midiendo su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
3. Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
4. Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.
5. Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera solo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya tendríamos la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.
6. Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3-D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un

punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

GPS Diferencial

El DGPS (Differential GPS) o GPS diferencial es el sistema utilizado para el control de maquinarias de movimiento de tierra, el que consiste en un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la disponibilidad selectiva (SA).

El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden a su vez corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

En suma la estructura DGPS quedaría de la siguiente manera:

- Estación monitorizada (referencia) que conoce su posición con una precisión muy alta.

Esta estación está compuesta por:

- Un receptor GPS
- Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
- Transmisor para establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales.
- Equipo de usuario, compuesto por un receptor DGPS (GPS + receptor del enlace de datos desde la estación monitorizada).

Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS. Las más usadas son:

1. Recibidas por radio a través de algún canal preparado para ello, como el RDS en una emisora de FM (este es el utilizado por el control de maquinaria).
2. Descargadas de Internet con una conexión inalámbrica.
3. Proporcionadas por algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En Estados Unidos existe el WAAS, en Europa el EGNOS y en Japón el MSAS, todos compatibles entre sí.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- Una corrección directamente aplicada a la posición. Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitora deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites (mecanismo utilizado por el control de maquinaria).
- Una corrección aplicada a las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles. En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor relación señal-a-ruido (S/N). Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva (SA) varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que se envía de correcciones también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

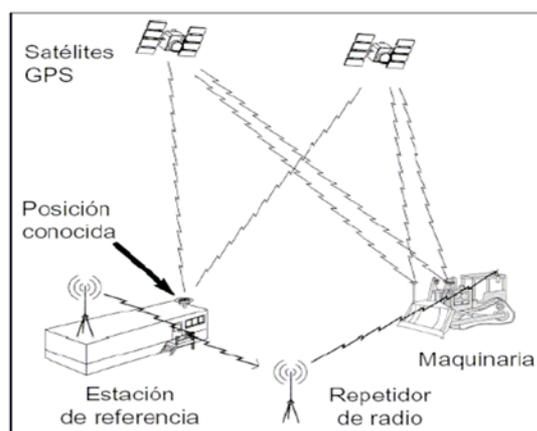


Fig. N° 40. Esquema de funcionamiento del equipo GPS

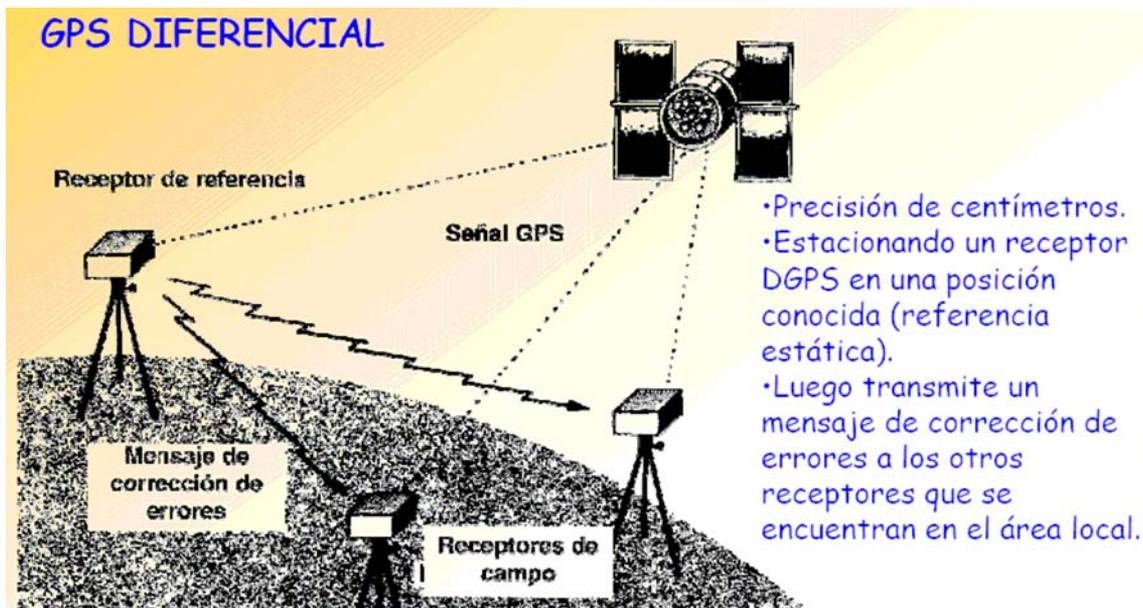


Fig. N° 41. Funcionamiento del equipo GPS.

4.2 Control de Maquinaria con Tecnología GPS.

Con la revolucionaria tecnología GPS es posible guiar la maquinaria de movimiento de tierra y construcción en general sin la necesidad de estacado, guías, tizado o instalación de taluceras para indicar al operador los diseños, avances y límites de la construcción. Superficies de diseño, pendientes y alineaciones se obtienen directamente en el monitor a bordo de la máquina. Preciso en 2 a 3 cm. los sistemas permiten que operadores de máquinas obtengan una pendiente y dirección precisa en un ambiente libre de estacas de manera que este se lleve a cabo el trabajo de forma más predecible y con mayor rapidez y eficacia. El sistema GPS de control es un accesorio para la máquina, robusto, sencillo y fácil de usar; altamente rentable aumenta considerablemente la productividad y permite que los trabajos se realicen con mayor rapidez. Faenas de movimiento de tierra masivo y terminaciones en que se requiere de un alto potencial de ingeniería ahora son rápidas y fáciles de terminar. Ya no es necesario esperar el avance de topografía en el estacado o instalación de guías; toda la información esta a bordo en la cabina del operador. Para lograr esta alta precisión, se instalan dos antenas GPS directamente en la herramienta de corte de la máquina motoniveladora o Bulldozer, con la finalidad de lograr precisión sin depender de la geometría en la máquina. El sistema se comunica con los circuitos hidráulicos de la máquina mediante un kit que permite un control automático en la herramienta de corte; en la cabina del operador, un monitor LCD permite

visualizar el nivel de corte, la alineación, pendiente, límites del proyecto, perfiles, vistas en planta, información numérica y códigos de colores para corte/relleno, etc. Los mandos en las perillas de control son reemplazados por mandos de control electrónico que permiten conectar y desconectar el sistema automático por el operador cuando sea necesario. Para el caso de excavadoras, en donde resulta imposible instalar antenas GPS directamente sobre el balde; estas antenas son instaladas en el chasis de la máquina, un sistema de sensores angulares instalados en cada una de las articulaciones del brazo logra determinar la ubicación de la punta del balde con una precisión de ± 2 cm. En oficina se carga el diseño de la obra desde el computador al sistema de control de la máquina mediante tarjetas de memoria o a través de comunicación radial, de esta forma, el operador tiene toda la información a mano en el monitor a bordo de la máquina; de igual forma se puede obtener un reporte de la jornada y cuantificar el avance del proyecto.



Fig. N° 42. Esquema que demuestra como trabaja el sistema.

Sistemas GPS para maquinaria de movimiento de tierra



Fig. N° 43. Motoniveladora con sistema GPS.



Fig. N° 44. Motoniveladora con sistema GPS + Láser.



Fig. N° 45. Bulldozer con sistema GPS.



Fig. N° 46. Bulldozer con sistema GPS, pantalla del operador.



Fig. N° 47. Excavadora con sistema GPS.



Fig. N° 48. Máquina Zanjadora con sistema GPS.

4.3 Control de pendiente en maquinaria para movimientos de tierra

GPS es una herramienta de control de pendiente para maquinaria especialmente diseñada para equipos de movimiento de tierra en la industria de la construcción. Basado en el Sistema de Posicionamiento Global, este nuevo producto, proporciona a los operadores de bulldozers y motoniveladoras una guía de hojas horizontal y vertical y una precisión que

supera los 2–3 centímetros (1/10° de pie). La idea sobre la que esta tecnología de construcción está basada es en realidad muy sencilla. Las computadoras y software de diseño pueden generar un modelo tridimensional preciso del diseño de un proyecto. En el pasado, este modelo permanecía en la oficina con el ingeniero, que proporcionaba información al topógrafo, quien a su vez ponía estacas en el terreno con el fin de guiar a los controladores de pendiente y a los operadores. Hoy en día, sin embargo, el modelo de diseño se puede llevar al campo. Añadiendo GPS, se puede determinar de forma muy precisa el lugar donde se encuentra una máquina, tanto horizontal como verticalmente, en el diseño del proyecto. De esta forma se pueden calcular directamente en la propia máquina los cortes o rellenos.

Para entender mejor el sistema de control de pendiente se describirán los componentes del sistema GPS y la forma en que interaccionan. También sobre el archivo de diseño del sitio de la obra, que constituye un elemento clave para el éxito de un proyecto. Se concluye con una descripción paso a paso de un proyecto típico.

El método utilizado para el control de pendiente en maquinaria de construcción es el GPS Diferencial o DGPS.

Se requiere una estación de referencia GPS ubicada cerca de la zona del proyecto. A continuación se va a describir brevemente la estación de referencia, para continuar con una descripción detallada de los componentes de la maquinaria.

Una estación de referencia GPS tiene los siguientes componentes:

- Receptor GPS
- Antena GPS
- Módem de radio
- Cables
- Suministro de alimentación eléctrica

Además, puede que haya un trípode para la antena GPS y posiblemente la radio, dependiendo de la ubicación particular. En el caso de zonas de construcción, donde el rebaje se prolonga durante períodos largos, se recomienda una ubicación permanente, tal como el

tejado de la oficina de la obra. También se recomienda un suministro de alimentación eléctrica confiable. Esta estación de referencia es similar al radiofaro láser empleado en los sistemas de control en maquinaria. Sin embargo, la estación de referencia GPS presenta varias ventajas significativas respecto al radiofaro de láser:

- No sólo proporciona información de posicionamiento vertical sino que también proporciona información de posicionamiento horizontal

- Con radios apropiadas transmite en una zona amplia (de hasta 10 kilómetros)
- La transmisión no se restringe a un avión
- Transmite a través de polvo y obstáculos

La estación de referencia GPS requiere una ubicación de inicio. Para lograr los mejores resultados, el receptor de referencia se configura sobre un punto topografiado. Una forma sencilla y eficaz de establecer estos puntos de medición consiste en emplear a un topógrafo experimentado con el equipo GPS.

GPS en la máquina

Los componentes utilizados en DGPS para el posicionamiento de la hoja de la maquinaria incluyen:

- 1 receptor GPS con puertos de antena dual
- 2 antenas GPS
- 1 radio
- Una computadora a bordo y pantalla con tarjeta de datos.
- 2 mástiles de antena GPS
- Cables y soportes de montaje
- 3 barras de luces

Las antenas GPS se montan con un mástil en cada punta de la hoja de la del bulldozer o motoniveladora. La antena de radio puede montarse en cualquier ubicación conveniente cerca del punto más alto de la máquina. El receptor GPS normalmente se monta lejos de la vista y alejado del operador, donde no impida el movimiento. La pantalla se monta dentro de la

cabina, cerca del operador de forma que sea fácil de alcanzar. Con el montaje de desenganche rápido, la pantalla puede quitarse fácilmente cada noche o cuando sea necesario por motivos de seguridad. Las barras de luces pueden montarse dentro o fuera de la cabina. En ambos casos, los soportes han sido diseñados para el desenganche rápido y para quitar las barras de luces diariamente. Si se utiliza un arnés de cable robusto, los componentes del sistema se interconectan, y conectan al suministro eléctrico de la máquina. Este último puede conectarse desde un interruptor de encendido o directamente desde la batería.

Visión de conjunto

El sistema GPS requiere en primer lugar un diseño definido del sitio de la obra, al inicio del proyecto o al inicio del área de trabajo nueva, que se introduce en la pantalla que hay a bordo de la máquina. El diseño se utiliza para calcular el corte o relleno de un sitio específico. El sistema GPS utiliza también una calibración GPS, que proporciona la información necesaria para trabajar en el sistema de coordenadas del proyecto. Una vez introducidos el diseño y la calibración, se necesitan datos GPS para posicionar la hoja. Las señales GPS se reciben por las antenas y se envían al receptor. Al mismo tiempo, el receptor recibe datos de la estación de referencia por el enlace de radio. Los datos se combinan para generar la posición y la pendiente transversal de la hoja. Esta información se transmite a la computadora que hay a bordo. La pantalla de la computadora es en color y fácil de ver a la luz del día. Hay tres vistas posibles para presentar la información en pantalla:

- Texto
- Sección transversal (para alineaciones viales)
- Vista del plano

El operador puede conmutar entre estas tres pantallas en cualquier momento.

Corte izqdo	1.29 m				
Corte drcho	1.41 m				
Elev de diseño	63.30 m				
Oscilación	+1.8°				
Satélites	9				
Cuchilla: Izqda	Elemento: 0	D.eje h.: 1.000m	D.eje v.: -1.000m	TaludLat.: Corte	Diseño: Rural Roa

Fig. N° 49. Pantalla del operador.

La pantalla presenta las alturas de antena sobre la base de la hoja, así como realiza otra función muy importante: muestra comparaciones entre las posiciones GPS en la base de la hoja y las elevaciones de diseño, y calcula el corte o relleno a nivelar.

Asimismo transmite los datos de dicho corte o relleno a las barras de luces del sistema GPS, que guían al operador hacia arriba o hacia abajo en cuanto a control de la hoja, y hacia la derecha o hacia la izquierda respecto a una alineación determinada.

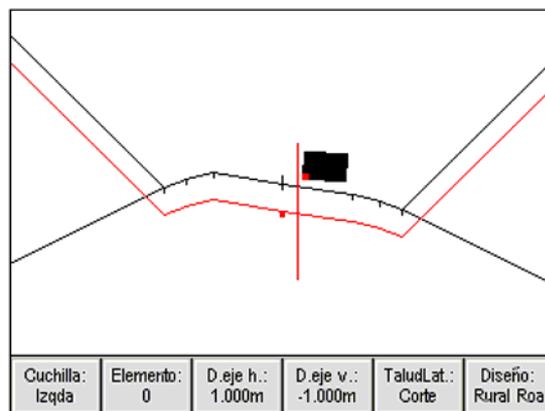


Fig. N° 50. Pantalla del operador.

En los casos en que se hayan definido alineaciones viales horizontal y vertical, la pantalla y las barras de luces proporcionan una guía hacia la derecha o hacia la izquierda de una línea seleccionada. Normalmente se selecciona el eje. Si el operador maneja el vehículo más allá del perímetro de la zona de trabajo definida, la pantalla le informa que la máquina ‘está fuera del diseño’ (“Off Design!”). Las barras de luces también parpadean repetidamente para avisar al operador.

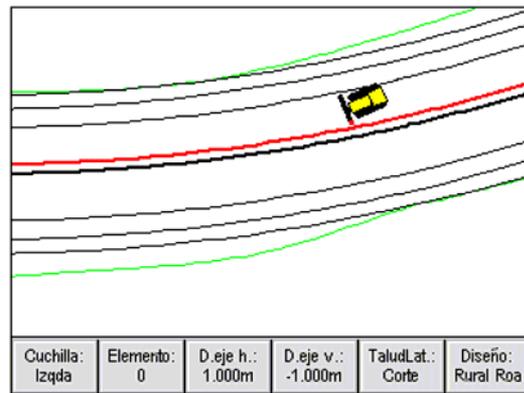


Fig. N° 51. Pantalla del operador.

Configuraciones

Todos los componentes del sistema GPS son configurables. Las configuraciones por defecto han sido cuidadosamente seleccionadas para que soporten la mayoría de las condiciones, aunque pueden cambiarse con el fin de adaptarse a las condiciones locales.

Detalles antena y cuchilla					
- Posición antena izquierda -					
Altura plano del terreno:		<input type="text" value="2.900"/>		m	
Antena hacia atrás desde pta cuch:		<input type="text" value="0.700"/>		m	
Anten hacia adentro desde pta cuch:		<input type="text" value="0.400"/>		m	
Medir al estar aparcado en nivel del terreno con la cuchilla horizontal y con una inclinac longitudinal normal.					
Tipo cuchilla	Antena izqda	Antena drcha	Cuchilla	Orientac vertical	

Fig. N° 52. Pantalla del operador.

Las configuraciones típicas incluyen:

Receptor GPS

- Sistema de coordenadas y calibración
- Tasa de actualización de posiciones

Barras de luces

- Escala de las barras de luces, o distancia implicada por cada flecha encendida

Hoja y antenas GPS

- Alto y ancho de la hoja
- Alturas de ambas antenas sobre la hoja
- Distancias al eje de las antenas desde la punta de la hoja

Texto de la pantalla a bordo

- Coordenadas
- Elevación de la hoja
- Estación
- Distancia del eje
- Orientación de la máquina
- Inclinación frontal de la hoja
- Inclinación lateral de la hoja
- Rumbo
- Velocidad
- Punta de la hoja izquierda de corte/relleno
- Punta de la hoja derecha de corte/relleno
- Elevación de diseño
- Estado del GPS
- Número de satélites

Las configuraciones de texto pueden seleccionarse para verse en cualquier momento.

Definición del diseño del sitio de la obra

Cada sitio de una obra tiene una superficie vertical definida, basada en el diseño de ingeniería para el proyecto. Este puede ser un modelo digital del terreno basado en el diseño tridimensional, o puede ser la superficie de una carretera basada en plantillas viales. Todos éstos pueden introducirse por separado en el sistema GPS.

Superficie de diseño

El corte o relleno en un sitio específico es la diferencia entre la base de la hoja y la pendiente de diseño. Esta última está basada en una superficie de diseño definida, que puede ser plana o irregular. La superficie de diseño se introduce de cualquiera de las dos formas siguientes:

Introducción por teclado:

- Superficie nivelada
- Superficie inclinada

Tarjeta de datos:

• Modelo Digital del Terreno (MDT) – bien una cuadrícula regular o una red irregular triangulada (TIN)

- Diseño vial
- Superficie nivelada
- Superficie inclinada

Introducción por teclado

La introducción por teclado se utiliza para planos sencillos, que pueden estar nivelados o inclinados respecto a una pendiente transversal. Este método se utiliza normalmente para zonas donde los cambios de diseño requieren modificaciones inmediatas en el campo.

The screenshot shows a software interface titled "Nuevo diseño: Superficie inclinada". It features a central form with three input fields labeled "Punto", "Norte:", "Este:", and "Elevación:", each followed by a unit indicator "m". The "Norte:" field is currently filled with a blue bar. Below the form is a status bar with five columns: "Punto", "Acimut", "Pendiente transversal", "Aquí", and "Método: Pt / Ac".

Fig. N° 53. Pantalla del operador.

Por ejemplo, suponga que un cambio de diseño requiere que la plataforma se eleve tres metros. Esta plataforma tiene un talud definido desde la parte frontal a la dorsal, con un talud transversal. Para llevar a cabo este cambio sin esperar a que se realice la colocación de estacas nuevas, el operador puede sencillamente definir con GPS las esquinas del lote existente, e introducir la nueva elevación de diseño, talud y pendiente transversal directamente desde la computadora.

Tarjeta de datos

La mayoría de los trabajos presentan superficies de diseño irregulares, con variedad de taludes y curvas de nivel. Este tipo de superficies complejas no puede definirse con un plano único. En su lugar, se definen como modelos digitales del terreno o MDT. En el caso de carreteras, la superficie se define con plantillas de cortes transversales.

Con el empleo de una tarjeta de datos, el MDT de diseño o las plantillas viales se cargan directamente a la pantalla que hay a bordo de la máquina. Estas superficies definidas se utilizan para calcular el corte/relleno. También es posible cargar un mapa de fondo, utilizando un archivo con formato AutoCAD Drawing Exchange (DXF). Este mapa de fondo, que muestra alguna o todas las líneas del proyecto, es útil para resaltar las zonas a evitar, los perímetros del lote, y otras zonas de interés. En un proyecto normal, el ingeniero diseña el proyecto basándose en el terreno original. Para crear el archivo de diseño electrónico puede utilizarse cualquier módulo de software. Este archivo a menudo contiene múltiples capas de información. Para crear un MDT cuadrículado para el sistema GPS, los datos horizontal y vertical (tridimensionales) que definen el plano de nivelación deben introducirse en una única capa. Esta entonces se convierte al formato del sistema GPS con una utilidad de conversión sencilla. El MDT se transfiere a la tarjeta de datos y a continuación se lee en la pantalla del sistema GPS.

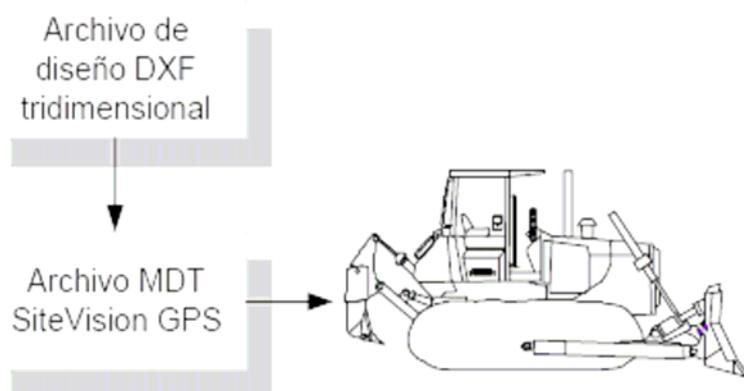


Fig. N° 54. Definición del diseño del sitio de la obra.

En algunos casos, puede que el contratista no tenga acceso al archivo electrónico creado por el ingeniero. Si sólo se dispone de una copia en papel del plano de nivelación, para crear el MDT2, es posible utilizar la información digitalizada empleada en el cálculo de la cantidad de capa superior del suelo a mover. En este caso, un archivo que contenga los valores norte, este e información de elevación, puede ser leído por el software apropiado, donde se crea el MDT del sistema GPS. Una vez creado el archivo, se transfiere a la tarjeta de datos y es leído por la pantalla del sistema GPS.

En el caso de las carreteras, la superficie vertical normalmente se deriva de plantillas, que definen los elementos de la carretera. Estas plantillas también definen la alineación horizontal de los elementos de la carretera. Esta combinación de definición de alineación y superficie es distinta de un MDT, ya que el sentido derecha/izquierda de una línea específica es significativo.

Resumen de un proyecto típico

A continuación se muestra un resumen paso a paso de un proyecto típico.

En terreno

- Empleo de un topógrafo GPS cualificado, posicionamiento y ubicación de puntos de control topográficos, que incluyan puntos de estación de referencia, y generación de un archivo de calibración local
- Instalación del equipo GPS en la(s) máquina(s)

En la oficina

- Obtención de un diseño digital del ingeniero encargado del proyecto o del presupuestista de obras.
- Copia del diseño del proyecto, la alineación, y los archivos de calibración a una tarjeta de datos.

En terreno – Estación de referencia

- Instalación de la estación de referencia GPS, preferiblemente en una marca topográfica.

- Localización de la estación de referencia GPS.

En terreno — En la máquina

- Carga de la tarjeta de datos en la pantalla que hay a bordo de la máquina.
- Configuración de los parámetros de la hoja, la antena y el texto de la pantalla.
- Selección de los archivos de diseño y de fondo.
- Inicio de la operación de movimiento de tierra.

Una vez que los archivos de diseño se han creado y la estación de referencia está en posición, el sistema GPS requiere una introducción mínima por parte del operador. Este último puede concentrarse en el movimiento de suelo. Si no se lleva a cabo ninguna modificación en el diseño, no es necesario introducir nada más en el sistema GPS. Si se producen cambios, el administrador del proyecto y el operador pueden actuar rápidamente, sin tener que esperar a que lleguen los topógrafos o a que se coloquen estacas. El sistema GPS puede trasladarse fácilmente de una máquina a otra. Ya que la estación de referencia puede soportar cualquier tipo de máquina, la adición del control de pendiente GPS a otras máquinas es cuestión de instalar el software correspondiente. Todos los operadores pueden utilizar los mismos archivos de diseño. El sistema GPS proporciona una solución flexible a los requisitos de movimiento de tierra.

4.4 Control de Excavadoras con Tecnología GPS.

El sistema de control GPS para excavadoras permite obtener diferente información y vistas, tanto de la posición de la máquina como del balde. En la pantalla se observa gráfica y numéricamente la dirección o el punto hacia donde navegar, así el operador siempre está informado respecto de la ubicación y objetivo que debe cumplir, no necesita de la indicación del supervisor como la profundidad y lugar de la excavación para realizar un trabajo. De igual forma, puede trabajar tanto de día como de noche, sin temor a equivocarse, la pantalla del operador posee iluminación propia lo que permite ajustar la intensidad de luz requerida de acuerdo al horario. A continuación aparecen algunas pantallas de la información que entrega el sistema en forma directa en el monitor a bordo de la máquina.

Monitor sv170 para sistemas GPS en maquinaria de movimiento de tierra



Fig. N° 55. Pantalla del operador del sistema GPS.

Monitor o pantalla del operador; instalado en el interior de la cabina de la máquina, permite que el operador pueda ver en tiempo real el proyecto, los resultados y avances. Toda la información necesaria se carga directamente mediante una tarjeta de memoria directamente al monitor. En la pantalla gráfica del monitor se obtienen las distintas vistas que a continuación se detallan con cada una de las alternativas de información y visualización.

Pantalla de orientación planimétrica

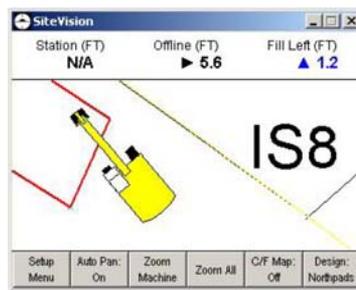


Fig. N° 56. Pantalla gráfica del sistema con información planimétrica.

Esta pantalla muestra una vista planimétrica del proyecto y la ubicación relativa de la máquina, en la parte superior izquierda aparece información de la referencia, al centro muestra la distancia que se encuentra el balde del límite derecho de la excavación (o relleno), y en el lado izquierdo muestra la altura faltante para terminar la excavación (o relleno). Por otro lado, en la parte inferior de la pantalla aparece el menú que permite acceder a las distintas vistas o acercamientos, parámetros del sistema, cartografía o mapa, coordenadas del sistema, etc. Además, para una interpretación más práctica, la pantalla principal muestra la vista gráfica de la posición de la máquina y el balde, el plano y diseño de la obra a construir.

Pantalla de orientación altimétrica (perfil Transversal)

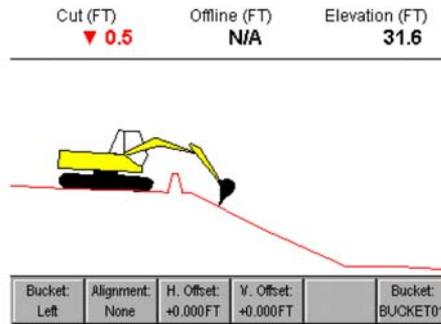


Fig. N° 57. Vista en perfil transversal.

Esta pantalla muestra un perfil de la obra a construir con toda la información de apoyo que se necesita para esta vista. En la parte superior de la pantalla se aprecia la altura de corte marcada de color rojo y con una flecha que indica en que dirección mover el balde; al centro indica la línea más próxima que para este caso no aplica, y al lado superior derecho indica la elevación de la punta del balde. Además, en la parte inferior aparece nuevamente el menú con las opciones del sistema.

Pantalla de orientación altimétrica (perfil longitudinal)

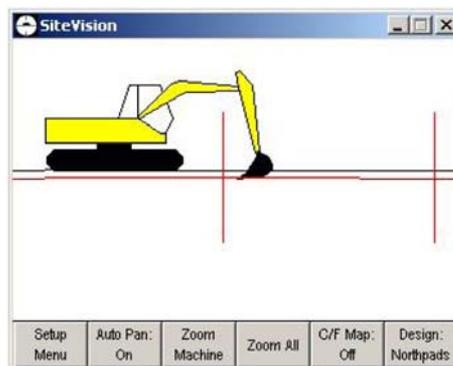


Fig. N° 58. Vista en perfil longitudinal.

En esta vista se muestra gráficamente la posición relativa de la máquina, el levantamiento del terreno (se puede omitir, y se mostrará solamente el diseño a construir), el diseño de la obra a construir y perfiles separados a cierta distancia. Corresponde al perfil longitudinal de la obra y el sentido de avance de la excavadora.

Pantalla de orientación compartida

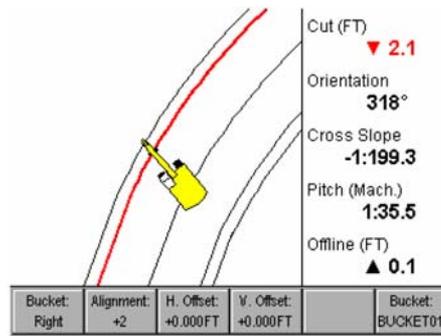


Fig. N° 59. Vista en planta en combinación con información numérica.

Cuando sea necesario, se puede compartir la pantalla para ver tanto la información gráfica como la información numérica respecto de la orientación, posición, pendientes, corte/relleno, etc. Esta alternativa es conveniente utilizarla cuando se está trabajando en labores de terminación como por ejemplo; limpieza de taludes, nivelaciones, dragados, instalación de bloques o rocas. Otras pantallas y vistas que se pueden obtener del monitor se muestran en las páginas siguientes; con aplicaciones para movimiento de tierra masivo, excavaciones, taludes, nivelaciones, terminaciones, dragados, etc.

Otras pantallas

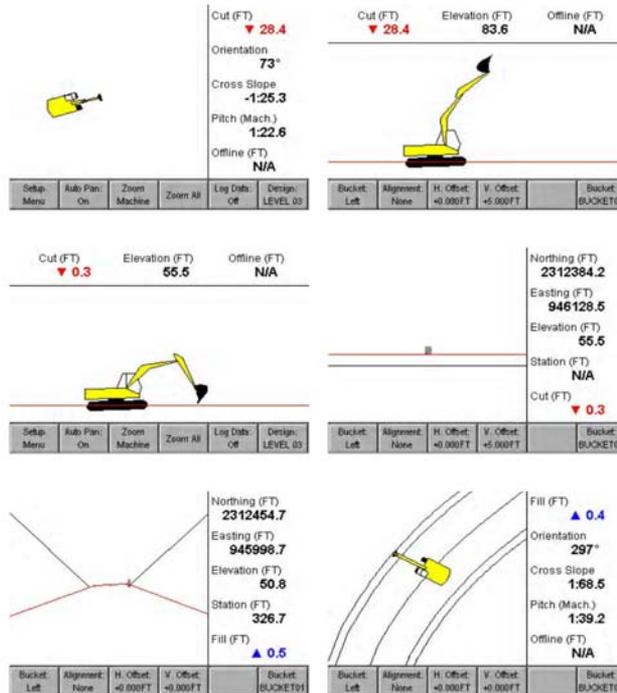


Fig. N° 60. Pantallas que visualiza el operador.

CAPITULO V: ANALISIS COMPARATIVO

5.1 Método.

Para hacer un estudio mas acabado del movimiento de tierra de obras viales, se tomaran como referencia diferentes métodos que facilitan el trabajo, específicamente para el caso de control de maquinaria.

Dado al avance de la tecnología, el GPS no es el único método que se puede utilizar para llevar a cabo un movimiento de tierra, por ello para obtener un análisis mas afondo se tomaran en cuenta los siguientes métodos: Convencional. Ultrasonido, láser 2D, láser 3D y el del estudio GPS.

Cada uno de estos métodos tiene diferente aplicación en terreno, diferentes resultados (productividad), entre otros, que serán analizados en profundidad para poder sacar conclusiones de cual es el mas conveniente.

5.2 Parámetros

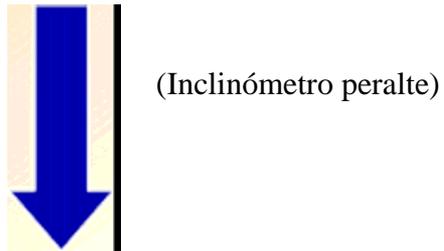
Son esenciales para conocer las ventajas y desventajas de cada método. Por ello los más importantes a tomar en cuenta serán los costos, productividad y tiempos de cada uno de los métodos. También se consideraran otros aspectos como proceso de ejecución, componentes del sistema y sus características principales.

5.3 Análisis respecto a los componentes del sistema.

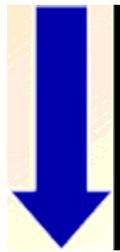
En este primer análisis se indicara cada uno de los elementos que componen cada sistema sin tomar en cuenta los costos que implican, los cuales serán analizados en detalle mas adelante. Estos se expresaran en forma de diagrama para tener una mejor comprensión de cuales son y cuales se pueden omitir respecto a otro método.

1. Ultrasonido.

Emisor – Receptor de ultrasonidos



Equipo de control



Barra de luces o sistema de control hidráulico.

En este diagrama aparecen indicados los componentes típicos de control de maquinaria con ultrasonido.

2. Láser 2D.

Emisor del plano láser.

Detectores láser sobre la maquina.

Procesador.

Sistema de control automático.

3. Láser 3D.

Equipo de posicionamiento.

Equipo de transmisión de datos.

Equipo de control.

Equipo de automatismo del movimiento de la maquina.

4. GPS.

Equipo posicional (GPS)

Antena.

Receptor de GPS

Ordenador a bordo

Equipo de guiado

Barra de luces

Sensores de control de la maquina

Tantos como posibles movimientos del implemento

Cabe mencionar que estos métodos pueden trabajar de manera conjunta como es el caso del ultrasonido con el láser.

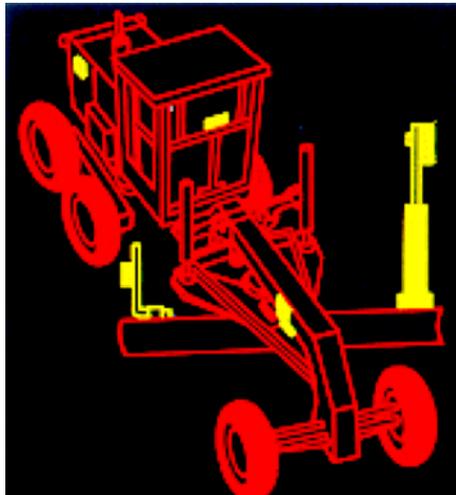


Fig. N° 61. Montaje mixto en motoniveladora.
Ultrasonido y Láser.

5.4 Proceso de Ejecución.

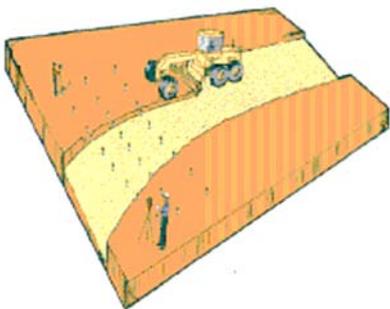
La ejecución de un proyecto de obras viales, específicamente la etapa de movimiento de tierra se realiza llevando a cabo una parte para luego poder continuar con la siguiente, en un proyecto típico se siguen los siguientes pasos:

- Definición topográfica del proyecto.
- Representación topográfica en la obra.
- Interpretación práctica y actualizada del proyecto en cada unidad de la obra.
- Alguien interpreta esa información.
- Alguien actúa en la maquina.
- La maquina ejecuta.

Gracias a los avances tecnológicos se ha buscado una ejecución más rápida y eficiente, eliminando algunas de estas etapas.

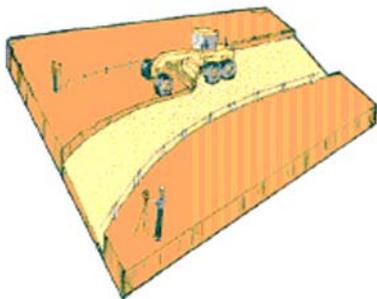
En el siguiente esquema se muestra de manera resumida como trabaja cada método y además que etapas pueden omitirse sin perder eficiencia en el resultado, lo cual produce un ahorro de tiempo significativo.

Sistema Clásico



- El maquinista lee.
- El maquinista conoce la ubicación de la maquina.
- El maquinista conduce la maquina.
- El maquinista mueve la cuchilla.

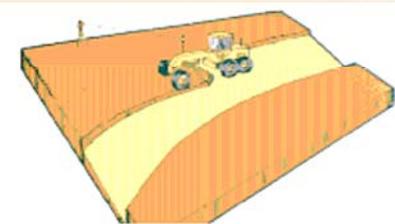
Sistemas de lectura automática



- La maquina lee sobre una referencia predeterminada:
sonido, Láser.
- El maquinista conduce la maquina.

Automático

Semi-Automático



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> La maquina mueve la cuchilla. | <ul style="list-style-type: none"> El maquinista mueve la
cuchilla. |
|---|--|

Sistema 3D



- Al maquinista mueve la cuchilla.
- Al maquinista conduce la maquina.

Automático

Semi-Automático



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> La maquina mueve la cuchilla. | <ul style="list-style-type: none"> El maquinista mueve la
cuchilla. |
|---|--|

Fig. N° 62.
Diferentes procesos de ejecución.

1. Sistema Clásico.

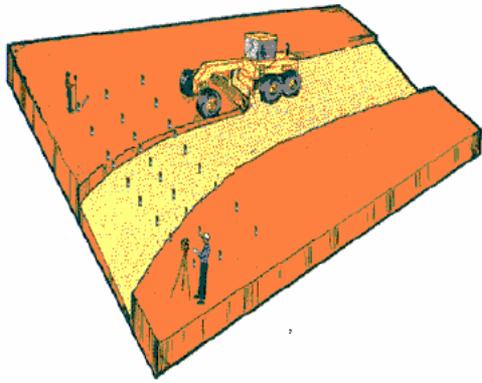


Fig. N° 63. Esquema sistema clásico.

Equipo de topógrafos.



Puntos físicos de referencia.



Maquinista.



Posición de la cuchilla.

2. Sistema de control de lectura automática: Ultrasonido y Láser.

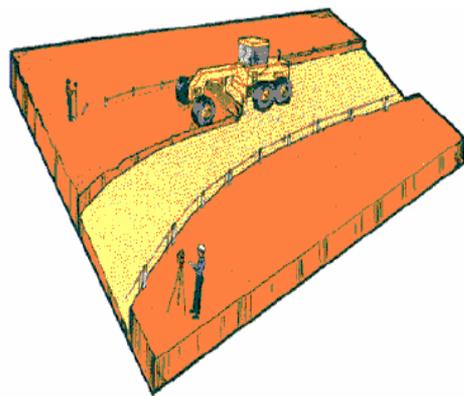


Fig. N° 64. Esquema sistema ultrasonido y laser 2D.

Equipo de topógrafos.



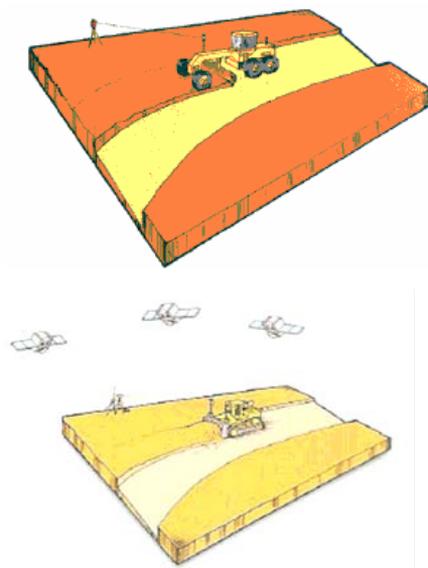
Puntos físicos de referencia.



Maquinista
(barra de luces)

Posición de la cuchilla.

3. Sistema de control semi-automático en 3D: Estación Total, GPS.



Equipo de topógrafos.

Digitalizar la geometría del proyecto.



No puntos físicos de referencia.

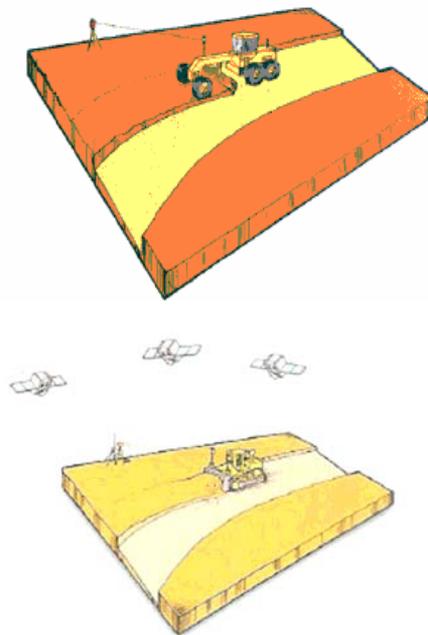
Maquinista: barra de luces.



Fig. N° 65. Esquema sistema semiautomatico en 3D.

Posición de la cuchilla.

4. Sistema de control automático en 3D: Estación Total, GPS.



Equipo de topógrafos.

Digitalizar la geometría del proyecto.



No puntos físicos de referencia.

Maquinista solo conduce.

Posición de la cuchilla.

Fig N° 66. Esquema sistme automatico 3D.

5.5 Características.

Se presentan dos tablas donde se consideran aspectos importantes de cada método, dando a conocer sus ventajas y desventajas que puede tener cada uno del punto de vista de la ejecución del movimiento de tierra en terreno, como también algunos aspectos importantes a tomar en cuenta a la hora de optar por alguno de estos métodos.

Características de cada sistema.			
Ultrasonido	Láser	Sistemas 3D	GPS
Utilizado para trabajos de nivelación y pavimentación.	Utilizado para trabajos en dos dimensiones y control de Excavaciones	Permite ejecutar cualquier tipo de Superficie	Rango de cobertura hasta 10 km
Gran calidad final (errores milimétricos)	Influenciado por condiciones atmosféricas y vibraciones	Mejora la calidad y Homogeneidad del Resultado	Sin necesidad de topografía
Sistema basado en una referencia fija, cable, bordillo, pasada anterior, etc.	Necesidad de instalar el emisor láser cada día	Aumento de rendimientos	Menor precisión: 2 cm en x,y 3 cm en z
El sistema puede causar problemas en ambientes húmedos	Radio de acción 450 m	Elimina estacas e hilo - ahorro en topografía y mano de obra	Puede combinarse con láser o ultrasonido para mejorar la precisión en elevación
Posibilidad de combinarlo con otros sistemas		Reducción del riesgo de cometer errores	Una sola persona por maquina (operador)
		Mayor seguridad - menos personas alrededor de la maquina	Elimina errores ocasionados por la ejecución del trabajo
		Los perfiles discretos se sustituyen por nivelación continua	Se puede monitorear desde la oficina. (900 mhz.)

Limitaciones del sistema 3D.
Máxima distancia de trabajo de 350 m
Influencia de las condiciones ambientales
Una estación total y un sistema para cada maquina
Dificultad con varias maquinas en el mismo lugar de trabajo
La zona de trabajo debe estar libre de obstáculos

5.6 Costos y Productividad.

Unos de los aspectos mas importantes para considerar a la hora de tomar una decisión sobre que método utilizar para llevar acabo un movimiento de tierra, es el costo ya que esta es una partida que influye mucho en el presupuesto del proyecto.

Por otro lado tenemos que, como es la primera etapa de la construcción de futuras obras viales, marca el ritmo de la ejecución del proyecto, en cuanto a la programación de las diferentes etapas.

En las siguientes tablas se entregaran valores en cuanto costo, tiempo, personal, necesario para cada uno de los métodos analizados, y los componentes que se requieren. Luego se presentaran tablas con la producción de cada método relacionado cada con el tiempo, ya sea por año, día u hora. También tomando como referencia el trabajo realizada cada cierta distancia, como por ejemplo por kilómetros de moviendo de tierra ejecutados.

5.6.1 Tabla N° 1. Calculo de los costos de cada hora de trabajo USD.					
Parámetro	Método				
	Convencional	Ultrasonido	2D Láser	3D Láser	GPS
Instrumento					
Precio de compra (aproximado)	\$ 34.500,00	\$ 40.000,00	\$ 50.000,00	\$ 90.000,00	\$ 100.000,00
Tiempo de la amortización (años)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Costo por año	\$ 8.640,75	\$ 10.018,26	\$ 12.522,82	\$ 22.541,08	\$ 25.045,65
Costo por día	\$ 34.56	\$ 40.07	\$ 50.09	\$ 90.16	\$ 100.18
Costo por hora	\$ 4.32	\$ 5.01	\$ 6.26	\$ 11.27	\$ 12.52
Mantenimiento (15%) por hora	\$ 0.65	\$ 0.75	\$ 0.64	\$ 1.69	\$ 1.88
Topógrafos					
Número de personas para el instrumento	2.00				
Número de Ingenieros	1.00				
Costo por hora del empleado	\$ 36.20				
Costo total por hora	\$ 41.17				
Costo por hora del sistema en la Máquina		\$ 5.76	\$ 7.20	\$ 12.96	\$ 14.40
Costo total por hora	\$ 41.17	\$ 5.76	\$ 7.20	\$ 12.96	\$ 14.40

Tipo de interés anual = 8.00%

Número de días usados por año = 250 días/año

Horas trabajadas al día = 8.00 h/día

5.6.2 tabla N° 2. Tiempos y costos por cada kilómetro de trabajo USD.					
Parámetro	Método				
	Convencional	Ultrasonido	2D Láser	3D Láser	GPS
Trazado y estacado	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Chequeo de la estaca	2.00	2.00			
Chequeo superficial	2.00	2.00	2.00		
Tiempo total (h/km)	8.00	8.00	6.00	4.00	4.00
Costo total por kilómetro	\$ 329.35	\$ 329.35	\$ 247.01	\$ 164.67	\$ 164.67
Estación total robótica					

5.6.3 tabla N° 3. Cuadro comparativo de sistemas para control de maquinaria en base a una motoniveladora de 140 HP					
Parámetro	Método				
	Convencional	Ultrasonido	2D Láser	3D Láser	GPS
Ancho operativo de la hoja de corte (m)	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
Eficacia de funcionamiento (min/h)	40	42	43	47	50
Velocidad					
Esparcido (km/h)	12	12	12	12	12
Nivelado (km/h)	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88
Terminación (km/h)	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
Velocidad media de nivelación (km/h)	7.86	8.04	8.21	8.43	8.43
Numero de pasadas	9	8	7	6	6
Productividad (m ² /h)	1.595,00	1.928,00	2.303,00	3.016,00	3.208,00
Espesor de la capa (m)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Productividad (m ³ /h)	405	490	585	766.00	815.00
Índice de productividad	100%	121%	144%	189%	201%
Incremento de productividad		21%	44%	0.89	101%

5.6.4 tabla N° 4. Calculo del costo unitario USD.					
Parámetro	Método				
	Convencional	Ultrasonido	2D Láser	3D Láser	GPS
Empleados					
Ingeniero (s)	2	2	1	1	1
Jornales	3	3	1	0	0
Costos total del empleado por hora	\$ 147.47	\$ 147.47	\$ 60.02	\$ 32.59	\$ 32.59
Costos de cada hora					
Costo que examina convencional					
Costo de la dirección del equipo	\$4.97	\$ 5.76	\$ 7.20	\$ 12.96	\$ 14.40
Costo total por hora		\$ 5.76	\$ 7.20	\$ 12.96	\$ 14.40
Combinación del equipo					
Graduador	1	1	1	1	1
Petrolero	1	1	1	1	1
Compresor	2	2	3	4	4
Costo total del equipo por hora	\$ 423.28	\$ 423.28	\$ 535.32	\$ 647.36	\$ 647.36
Costo total de cada hora	\$ 570.75	\$ 576.51	\$ 602.54	\$ 692.91	\$ 694.35
Productividad de la flota (m3/h)	\$ 405.09	\$ 489.61	\$ 584.68	\$ 765.66	\$ 814.53
Hora de terminar el trabajo (h)	\$ 11.29	\$ 9.34	\$ 7.82	\$ 5.97	\$ 5.61
Costo total	\$ 658.69	\$ 658.69	\$ 494.02	\$ 329.35	\$ 329.35
Costo unitario (dolares/m3)	\$ 1.55	\$ 1.32	\$ 1.14	\$ 0.98	\$ 0.92

5.6.5 Tabla N° 5. Cálculo de productividad de motoniveladora de 16 HP.					
Parámetro	Método				
	convencional	Ultrasonido	2D Láser	3D Láser	GPS
Ancho efectivo de trabajo (m)	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
Eficiencia de trabajo (min/h)	40.00	42.00	43.00	47.00	50.00
Velocidad					
Nivelación (km/h)	7.36	7.36	7.36	7.36	7.36
Terminaciones (km/h)	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
Velocidad media de operación (km/h)	6.95	7.04	6.98	6.88	6.88
Número de de pasadas requeridas	7.00	6.00	5.00	4.00	4.00
Tiempo de ciclo (h)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Productividad (m ² /h)	4.235,32	5.256,53	6.339,32	8.622,93	9,173.33
Grueso de la capa	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Productividad (m ³ /h)	537.89	667.58	812.71	1,095.11	1,165.01
Productividad (índice)	100.00%	124.11%	151.09%	203.60%	216.59%
Incremento de productividad de 2D al láser 3D				34.75%	

5.6.6 Observaciones:

Respecto a las tablas presentadas se debe bien claro algunos conceptos que aparecen para dar una interpretación correcta a los datos numéricos, a continuación se aclaran algunos que son relevantes:

Ancho efectivo de trabajo: Se refiere al ancho de la cuchilla de la motoniveladora. Hay que considerar que la cuchilla posee cierta inclinación respecto a la dirección de avance de la motoniveladora, es por ello que puede ser menor al valor que aparece en los catálogos del fabricante.

Eficiencia de trabajo: Corresponde a la cantidad de minutos de trabajo efectivo de la máquina por cada hora (horometro) de trabajo. Se puede interpretar como la cantidad de minutos en que la motoniveladora está realizando el trabajo de nivelación y/o terminación; se debe considerar que la maquina tiene tiempos muertos en que levanta la hoja y se desplaza en reversa, esos tiempos no se cuantifican en este índice de medición.

Numero de pasadas requeridas: Equivale a la cantidad de pasadas necesarias para terminar la nivelación y terminaciones empleando cada uno de los métodos.

Se debe tener cuidado con las dimensiones de la cancha en que se hicieron estas mediciones por que eso puede afectar el tiempo de ciclo de la máquina, estas pruebas corresponden a un camino de 7 mts de ancho.

CONCLUSIONES

Luego de realizar un estudio acabado del movimiento de tierra de obras viales y al control de las diferentes maquinarias que se utilizan en la ejecución de las obras, sobre todo al control por medio del GPS, se pueden obtener varios beneficios y mejores resultados, que se exponen de forma detallada a continuación:

Ciclos de trabajo más rápidos.

Se ocupa más tiempo siendo productivo y menos tiempo esperando que se realice el levantamiento y la comprobación de la pendiente. Al disponer de la visualización del nivel y del plano de la obra en la cabina, los operadores pueden terminar los trabajos con mayor rapidez y con una supervisión mínima, incluso cuando hay polvo, viento o está oscuro.

Flexible.

Se ejecutan una amplia serie de trabajos, desde excavaciones masivas hasta la capa de nivelación terminada, tanto en proyectos grandes como en pequeños. Los productos de control de máquina han sido diseñados para adaptarse a diversas máquinas y aplicaciones de obras de trabajo.

Costos operativos más bajos.

Al realizar el trabajo correctamente la primera vez se elimina la repetición de tareas. Con información del diseño al alcance de sus manos, se reduce la necesidad de estacas, puntos de referencia o cordeles de referencia. Mediante una productividad mejorada, también se reducen los costos de personal y maquinaria. Además, la nivelación precisa le ayuda a controlar la utilización de materiales cuidadosamente.

Rentabilidad de la inversión.

Los Sistemas de Control de Pendiente se pagan rápidamente por si mismos, ¡a menudo en el primer proyecto! Una finalización más rápida, menos repetición de trabajo, menos replanteos, menos comprobación, costos más bajos, y una mejora en el rendimiento de materiales, la suma de todo ello equivale a resultados más fiables para una empresa.

Control de pendiente en la cabina.

Se obtiene el plano del sitio de la obra directamente en la cabina, lo que permite que los operadores determinen la posición con precisión y controlen la pendiente. Esto reduce notablemente los costos topográficos y de comprobación de pendiente. La utilización de la máquina se incrementa, puesto que el operador y la máquina no están esperando que los topógrafos realicen el trabajo de replanteo (o que vuelvan a replantear). Ahora el operador puede dedicar una mayor parte del día siendo productivo: moviendo tierra.

Respuesta más rápida a los cambios.

¿Necesita hacer alguna modificación en el campo? Con el sistema GPS, el operador puede rápidamente configurar la nueva pendiente o elevación de la plataforma en la misma cabina, sin esperar que se coloquen o reposicionen las estacas.

Costos de combustible y de mantenimiento reducidos.

El control preciso de la pendiente desde dentro de la cabina significa que la nivelación se logrará con muy pocas pasadas. El resultado consiste en una mejor utilización de la máquina y menos horas por volumen de tierra movido, lo que produce menores costos de combustible y de mantenimiento.

En el presente gráfico, basado en las tablas presentadas en el capítulo V, utilizando la productividad y el costo unitario queda demostrado de forma numérica la eficiencia de utilizar uno u otro método.

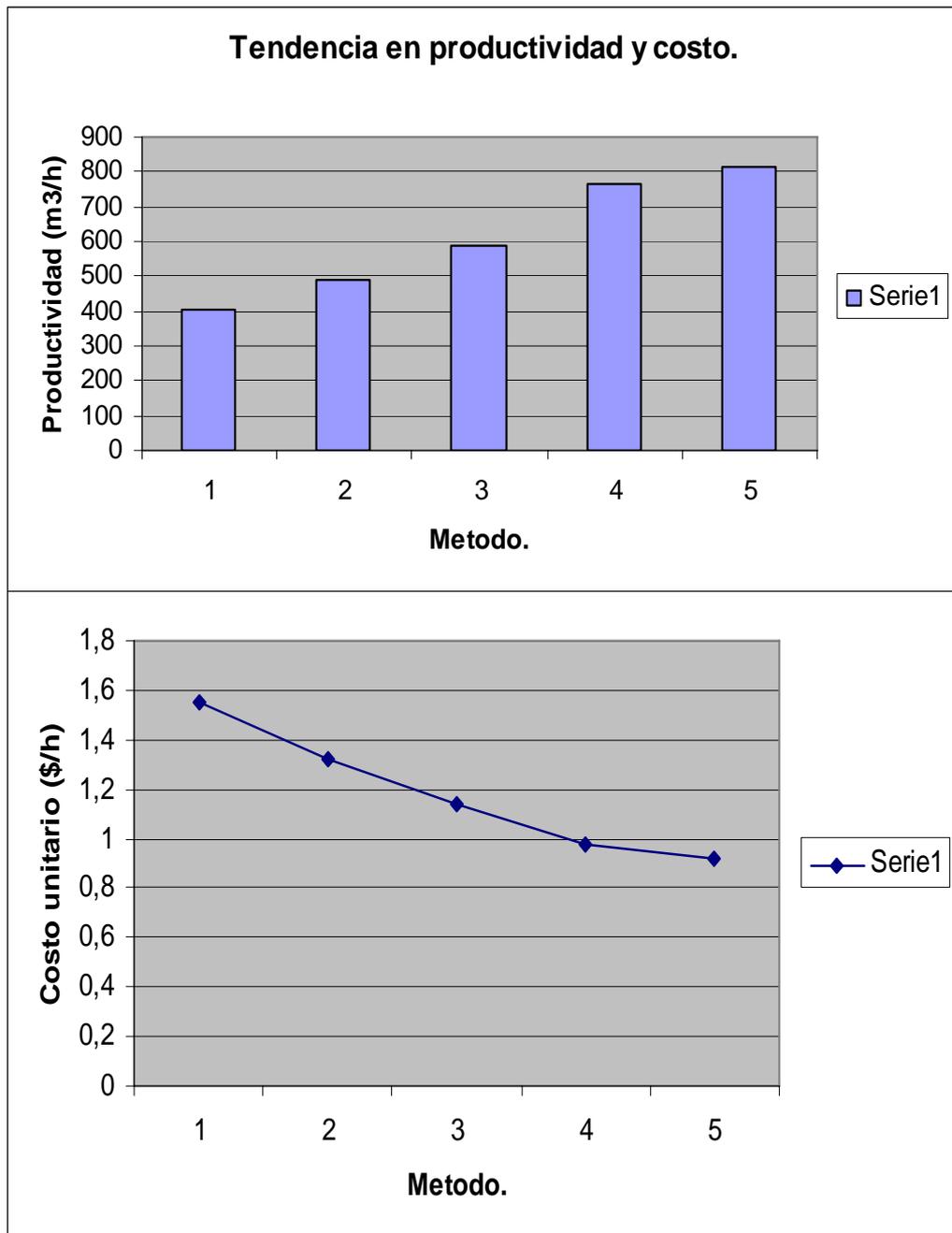


Fig. N° 67. Grafico Tendencia de productividad v/s costo.

CONVENCIONAL (1)
 ULTRASONIDO (2)
 2D LASER (3)
 3D LASER (4)
 GPS (5)

Sin lugar a dudas la mejor manera de realizar un movimiento de tierra en obras viales es utilizar el control de maquinaria con GPS, lo que quedo demostrado luego de realizar un análisis en profundidad y compararlo con otros métodos.

Obteniendo una mayor productividad a menores costos y tiempo.

ANEXO: APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA GPS EN OBRAS DE CONSTRUCCION EN EL MUNDO.

Anexo N° 1: Protección de Venecia.



Fig. N° 68. Equipo de trabajo.

El siglo XX ha puesto definitivamente en peligro la capacidad de Venecia de mantenerse a flote en la laguna veneciana. La ciudad sufre, con cada vez mayor frecuencia e intensidad, inundaciones que no sólo reducen la calidad de vida de los venecianos, sino también causan daños considerables al patrimonio arquitectónico. Tras estudiar numerosas alternativas, ahora está siendo implementado el proyecto «Mose» (Moisés), un ingenioso sistema de protección que incluye diques móviles. Para el posicionamiento exacto de los mismos, se ha optado por una solución de automatización de maquinaria con GPS.

Durante los últimos cien años, Venecia se ha hundido aprox. 23 cm con respecto al nivel del mar, mientras que la amplitud de la marea ha crecido unos 8 cm debido a cambios morfológicos en la cuenca de la laguna. El Ministerio de Infraestructuras ha diseñado un sistema de intervención integrado para proteger la ciudad contra las mareas altas: Incluye medidas de protección para salvar las partes más bajas de la ciudad y estructuras de defensa contra la marea situadas en la entrada a la laguna, que entrarán en acción cuando el agua suba más de 110 cm.

El sistema Moisés.

En cuanto se alcance esta marca, se activarán 78 compuertas móviles en los accesos a la laguna (18 en Chioggia, 19 en Malamocco y 41 en el Lido) para aislar la ciudad del mar abierto. Otras medidas de protección incluyen diversas iniciativas para reducir los niveles de

agua en las zonas más bajas de la ciudad durante las frecuentes inundaciones. Todas estas medidas son complementadas por un sistema de protección extremadamente efectivo que optimiza la gestión de los diques móviles y limita el cierre de las entradas entre 3 y 5 veces al año para preservar la calidad del agua y proteger la morfología, el paisaje y las actividades portuarias.

Trabajos en el mar.

Uno de los primeros contratos, fue para las cimentaciones de anclaje de los módulos de diques móviles. Estos trabajos se llevaron a cabo en el área de acceso portuario Lido di Venecia: 176 pilones de metal, cada uno de 24 m de longitud y 508 mm de diámetro, tuvieron que ser anclados en el fondo del mar a más de 16 m de profundidad, en un espacio de 3 x 3 m. Lo que en tierra es un trabajo rutinario, se tuvo que realizar en el mar sin puntos de referencia fijos y, en ocasiones, bajo condiciones ambientales adversas tales como corrientes marítimas, mareas y fuertes vientos Bora. Al mismo tiempo, los requisitos eran muy estrictos, permitiendo como máximo una desviación de 15 cm con respecto al plano.

El reto que tuvieron que afrontar: en primer lugar, hubo que transportar un martinete a su posición en las bocas de la laguna y tomar medidas similares que en tierra para asegurarlo en el lugar. Luego, le tocó al operario llevar los pilones con la máxima precisión posible sobre las coordenadas especificadas.



Fig. N° 69. Venecia.

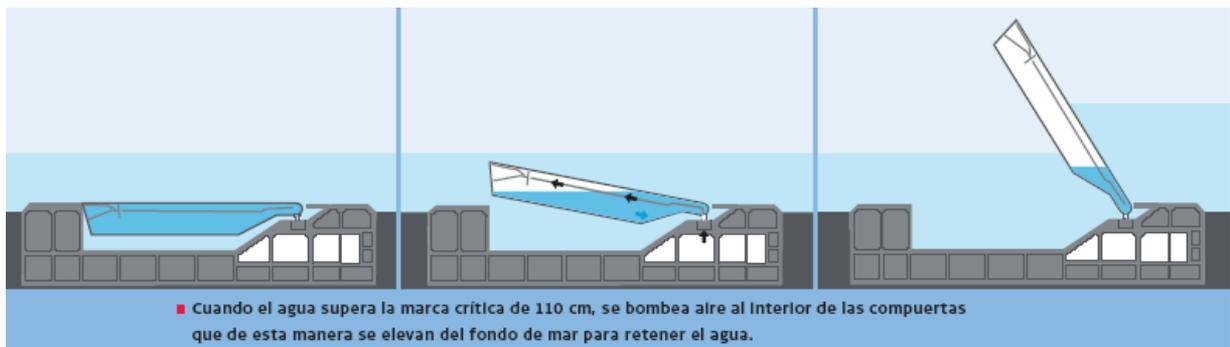


Fig. N° 70. Esquema de funcionamiento de la obra a construir.

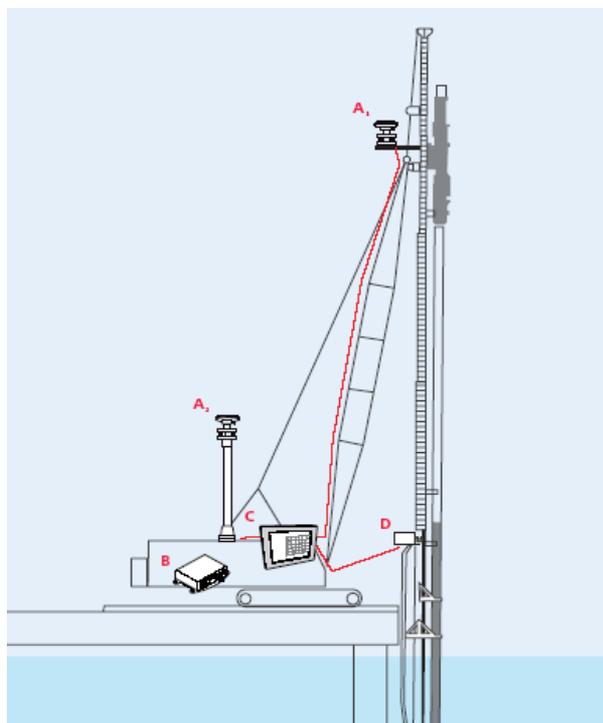


Fig. N° 71. Esquema de funcionamiento de la obra a construir.

- A. Antena.
- B. Receptor GPS.
- C. Ordenador con programa de control.
- D. Sensor de inclinación.

Control exacto.

Los expertos han desarrollado un sistema de navegación constituido por dos antenas (A1, A2), un receptor GPS (B) y un programa de control especial para permitirle al operador de la máquina posicionar los pilones con la mayor precisión posible. De esta manera, el pilón puede colocarse exactamente en la posición especificada en los planos y ser hincado en el fondo del mar por la máquina. Un sensor de inclinación (D) le proporciona al operario toda la información necesaria para hundir cada pilón de forma exactamente vertical.

Posicionamiento del martinete.

Para llevar a cabo la primera tarea, se usó la plataforma elevadora «LYNX». Está diseñada especialmente para transportar grandes maquinas sobre el agua, en este caso un martinete, transformándose en caso de necesidad en una plataforma fija, anclada en el fondo del mar con la ayuda de cuatro elementos telescópicos dispuestos en sus partes laterales. El equipo desarrolló un sistema GPS especial para determinar las coordenadas de Lynx, que serviría para guiar al operario hacia la mejor posición de anclaje. El objetivo consistía en obtener la posición ideal para el martinete, de modo que pudiera colocar la máxima cantidad posible de pilones en cada operación y reducir al mínimo el tiempo necesario para reposicionar la plataforma tras acabar en un lado.

Posicionamiento de los pilones.

Para la segunda tarea, es decir, ayudarle al operario a emplazar los pilones exactamente en las posiciones especificadas, el equipo desarrolló un sistema auxiliar de navegación, basado en el receptor GPS. Dicho receptor, dos antenas y un software de control apropiado, le indican al operario la posición planimétrica de la antena en el martinete en relación con las coordenadas especificadas. El operario simplemente realiza una comparación gráfica y numérica de los puntos de referencia en el monitor y es capaz de posicionar la antena del martinete en muy poco tiempo encima de las coordenadas del pilón, teniendo en cuenta las tolerancias mínimas. El software puede proporcionar también informes almacenados sobre el hincado de los pilones, si hace falta con información sobre la medida en que la posición instalada difiere de la posición especificada del pilón.

Esto permite crear de una manera sencilla un informe de certificación atestando la calidad del trabajo realizado en relación con el estándar requerido. Gracias a esta innovadora solución de posicionamiento por GPS, fue posible finalizar los trabajos de cimentación para el proyecto Moisés en Venecia en el plazo más corto posible. Con este proyecto, el sistema GPS ha tenido la oportunidad de contribuir a salvar la ciudad de Venecia que, a día de hoy,

desafortunadamente, sigue estando expuesta de una forma muy real a las fuerzas devastadoras de la naturaleza.

Anexo N° 2: Excavando en medio del Rhin.



Fig. N° 72. Equipo de trabajo.

El proveedor de energía alemán «energiedienst» está llevando a la práctica un ambicioso proyecto en Rheinfelden junto al río Rhin. Para el año 2011, cuatro turbinas bulbo con un diámetro de rodete de 6 metros y una potencia de megavatios cada una estarán instaladas en la nueva sala de turbinas en la orilla suiza del Rhin. Uno de los desafíos es la excavación subacuática en la cuenca del Rhin.

La nueva instalación elevará la capacidad de la histórica central hidroeléctrica en Rheinfelden de los actuales 26 MW a 100 MW. Desde septiembre de 2006, la constructora Schleith GmbH, Waldshut, ha estado excavando 1.200.000 m³ de rocas y tierra de la cuenca del Rhin. Un gran reto, ya que una gran parte de la excavación se está realizando directamente en el Rhin y bajo el agua. Tres excavadoras de cadenas se equiparon con sistemas de control de máquinas 3D por GPS para satisfacer los elevados requisitos en cuanto al rendimiento, la precisión y, sobre todo, la resistencia. Para la navegación de máquinas, Schleith optó por una solución GNSS robusta, en combinación con un sistema de control de excavación 3D.

El sistema de control integra el posicionamiento asistido por satélite. La aplicación 3D compara los datos topográficos actuales con el modelo digital del terreno, creado durante el proceso de diseño, visualizando la diferencia en el monitor en forma de una rápida animación 3D en tiempo real. La lograda combinación de componentes hacen que el sistema sea una herramienta fácil de usar y muy productiva.

Especial énfasis se puso en la resistencia de los componentes. Los Sensores probados bajo las condiciones más duras, cables de datos tendidos dentro de un tubo flexible hidráulico con trenzado metálico, así como un PC y un monitor seleccionados para satisfacer los máximos requisitos, garantizan que el sistema de control de excavadoras resista a las duras condiciones que reinan en esta obra.

Los dos sistemas combinados proporcionan a Schleith uno de los paquetes más productivos y potentes de los que están disponibles en la actualidad. Complejos movimientos de tierras y excavaciones subacuáticas están siendo llevados a cabo con una precisión centimétrica, sin ningún otro tipo de ayudas, de forma exacta e independiente en cada rincón de la obra.

Anexo N° 3: Llegando muy alto gracias a la red GPS.



Fig. N° 73. Equipo de Trabajo.

La Burj dubai («Torre de dubai») es el edificio más alto que se está construyendo actualmente en el mundo. Cuando esté terminada, en el año 2008, será la edificación más alta del mundo con una altura que medirá casi dos veces más que el empire State Buildings de nueva York, siendo más elevada incluso que el Taipei Financial center (Taipei 101) en Taiwán que mantiene este título en la actualidad. La altura final exacta todavía se mantiene en secreto. No es ningún secreto, en cambio, el sistema de monitorización único, desarrollado.

En los últimos años ha habido un interés considerable en la construcción de edificios superaltos, precisamente también en el Lejano oriente. Sin embargo, este tipo de edificios están expuestos a fuertes inclinaciones causadas, por ejemplo, por las presiones del viento, las

cargas unilaterales y las influencias térmicas por la irradiación solar. Estos efectos suponen un reto, sobre todo en la fase de construcción de rascacielos, ya que repercuten también en el edificio en construcción que puede perder, al menos temporalmente, su alineación - por lo general exactamente vertical.

La Burj Dubai en Dubai (Emiratos Árabes Unidos) probablemente medirá 800 m de altura cuando esté terminada en el 2008. Además de su extraordinaria altura, el edificio es muy estrecho. Por ello, hay que contar con que el edificio se moverá en las plantas superiores por las cargas del viento, de las grúas, la ejecución de las obras y otros factores. El encofrado autotrepador es muy complejo debido a la forma del edificio y requiere la instalación de un gran número de puntos de control, que en la actualidad ascienden a más de 240.

Los profesionales a cargo, han desarrollado un procedimiento totalmente nuevo, en el que se realizan observaciones por GPS y una red de sensores de inclinación de alta precisión para determinar coordenadas fiables en la punta de la Burj Dubai.

Al comenzar las obras, seis puntos de referencia permanentes fueron establecidos en el terreno y medidos con precisión. «Desde el suelo hasta aproximadamente la 20ª planta, con la ayuda de los puntos de control externos ubicados a una distancia de aprox. 100 a 150 m de los cimientos de la torre, pudo realizarse un estacionamiento libre. La redundancia de observación permitió conseguir resultados de muy alta calidad. Sin embargo: A partir de la 20ª planta ya no se podía aplicar este sistema debido a la mala visibilidad que encima fue entorpecida adicionalmente por los pisos superiores del encofrado.

El movimiento de la estructura genera diversos problemas para la realización de mediciones precisas. En teoría, se necesita saber en cualquier momento exactamente la desviación entre el eje central teórico del edificio y el eje vertical y, al mismo tiempo, las coordenadas exactas del instrumento. En la práctica, sin embargo, una posición «media» determinada para ambos elementos durante un corto período de tiempo puede proporcionar una solución adecuada. Una compleja combinación de receptores y antenas GPS, estaciones totales, estaciones de referencia GPS de operación continua así como inclinómetros biaxiales,

determina y analiza con precisión la desviación de la alineación de la torre con respecto al eje vertical.

Con la ayuda de un modelo del edificio fue posible deducir para cualquier planta valores relativos a los influjos de la secuencia de construcción, el diseño de la edificación y los efectos solares. Esta red GPS más pequeña para el edificio más alto del mundo se puede usar para monitorizar la torre tanto durante la construcción como después de acabar la estructura.



Fig. N° 74. Construcción de la obra.

El concepto de la ciudad Vertical.

El desafío relacionado con la conquista vertical del espacio no consiste en batir nuevos récords de altura, sino en redefinir la vida digna en las grandes comunidades.

El auténtico compromiso social radica en desarrollar un modelo innovador de la construcción vertical que reúna los conceptos tecnológicos revolucionarios, capaces de exceder los 500 m de altura, y los nuevos modelos bioecológicos de la planificación y arquitectura urbana en una nueva filosofía de vida.

La superpoblación, los modelos urbanos obsoletos con sus crecientes problemas, y el rechazo del límite habitual de 500 m, les llevaron a desarrollar su Concepto de Ciudad Vertical, basado en la consideración de que la naturaleza nos enseña cómo construir estructuras. En núcleos masivos y donde escasea el suelo, las Ciudades Verticales permiten una expansión ecológica de las ciudades.

Los edificios de hasta 1.228 m de altura (equivalente a 300 plantas) con 100.000 habitantes son el futuro, tanto para la humanidad como para el medio ambiente.

Anexo N° 4: Monitorización de un dique de tierra por levantamiento GPS.

El Karkheh es el tercer río más grande de Irán por volumen de agua, después de los ríos Karen y Dez. Su abundancia de agua era un peligro permanente para las regiones occidentales y sudoccidentales del país. Las inundaciones de temporada y los extensos daños resultantes eran una constante para los habitantes de la región. El dique del Karkheh, cuya construcción finalizó en el año 1995, facilitó considerablemente la vida en esta zona. La monitorización ha sido realizada por GPS, a la gigantesca estructura que figura entre los 10 diques más grandes del mundo. Durante los últimos ocho años, se ha proporcionado un método preciso, pero económicamente eficiente, para monitorizar el dique del Karkheh en la provincia de Khuzestan.

La construcción del dique de Karkheh en 1995 (cerca de Andimeshk) eliminó los peligros derivados del río Karkheh para las planicies situadas río abajo en la provincia de Khuzestan. El almacenamiento y la regulación del agua, la generación de energía hidroeléctrica con un rendimiento de hasta 934 GWh/año y la prevención de inundaciones devastadoras fueron los objetivos principales de la construcción del dique. El dique de tierra tiene una longitud total de 3.030 metros y una altura de 127 metros, con una capacidad de almacenamiento de agua de 7.6 millones de metros cúbicos.

Los expertos describieron los desafíos que conlleva el proyecto: debido a la gran extensión de la estructura, fallaron los métodos convencionales para cumplir los requisitos de monitorización, puesto que requerían mucho tiempo proporcionando poca precisión en este caso. Además, los diques de tierra se mueven más que los diques de hormigón. Por esta razón, se recomienda una combinación de redes de nivelación vertical de precisión y redes de monitorización por GPS para realizar el levantamiento topográfico del dique.



Fig. N° 75. Esquema de la obra.

Una docena de levantamientos con GPS y niveles.

Desde el comienzo del proyecto en 1999, se han ido realizando 12 series de medición con monitorización por GPS con redes ubicadas en el dique y fuera de él. El GPS ofrece unas posibilidades extraordinarias en el posicionamiento horizontal, pero no en la dirección vertical, debido a la constelación especial de los satélites que están configurados de forma asimétrica con respecto a la dirección vertical. Por ello, fue esencial disponer de una red de nivelación junto a una red horizontal GPS. Los receptores GPS se usaban para adquirir datos de un total de 119 puntos en el dique y fuera de él, y cerca de 125 observaciones de diferencia de altura, tanto hacia atrás como hacia adelante, se realizaron usando niveles de precisión.

Al analizar los datos se constató que los movimientos del dique durante un período de ocho años se situaban dentro de los límites de tolerancia. Se ha demostrado que los desplazamientos no exceden los requisitos de precisión ni la sensibilidad de la red. El uso de una red GPS combinada con una red de nivelación permitió mostrar con precisión los cambios de posición.

BIBLIOGRAFIA.

- Wikipedia. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Valdivia>.
- Errepar. Enciclopedia de la construcción. www.construir.com.
- www.vialidad.cl Dirección Nacional de Vialidad.

MANUAL DE CARRETERAS. DIRECCION DE VIALIDAD. MOP. CHILE.
Volumen N°5. Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales. Diciembre de 2003.

- Entrevista, al Sr. Lorenzo Rivera León, Ingeniero en Geomensura, encargado del Control de maquinaria en la Empresa Geocom, Santiago de Chile.
- Página web de Empresa Topcom , www.Topcom.cl.
- Página web de Empresa Komatsu, www.Komatsu.cl.
- Página web de Empresa Caterpillar, www.Cat.cl.
- Página web de Empresa Trimble, www.Trimble.cl.
- Página web de Empresa Geopack, www.Geopack.cl.