



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

MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA

Andy Klauss Aramis Porón Olcot

Asesorado por el Ing. Carlos Rafael Figueroa Caballeros

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE
CARRETERAS DE TERRACERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANDY KLAUSS ARAMIS PORÓN OLCOT

ASESORADO POR EL ING. CARLOS RAFAEL FIGUEROA CABALLEROS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

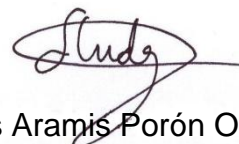
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velázquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 2 de junio de 2011.



Andy Klauss Aramis Porón Olcot

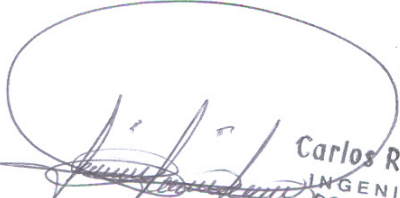
Guatemala, 13 de Octubre de 2011.

Licenciado
Manuel Guillen Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Licenciado Guillen.

Por medio de la Presente, me permito informarle que he revisado el trabajo de tesis realizado por el estudiante: **ANDY KLAUSS ARAMIS PORON OLCOT**, titulado **“MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA”**, previo a optar el titulo de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.


Ing. Carlos Rafael Figueroa Caballeros.
Asesor.

Carlos R. Figueroa C.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 6488



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
07 de noviembre de 2011

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Andy Klauss Aramis Porón Olcot, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Rafael Figueroa Caballeros.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758




/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Rafael Figueroa Caballeros y del Jefe del Departamento de Planeamiento; Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Andy Klauss Aramis Porón Olcot, titulado **MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



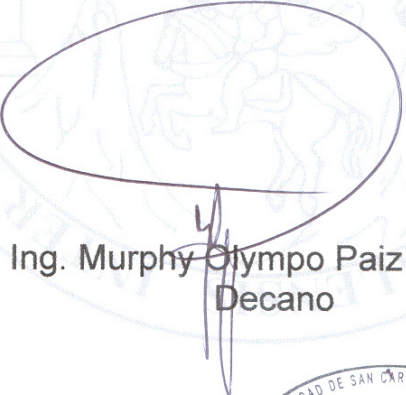
Guatemala, enero de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL DE ESTIMACIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS DE TERRACERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Andy Klauss Aramis Porón Olcot**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, enero de 2011



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todopoderoso por haberme dado paciencia, perseverancia y la oportunidad de haber alcanzado un logro en esta vida.
Mis padres	Rudi Edelmiro Porón Alinan y Estela Olcot Aju. Por su gran amor, confianza, paciencia y brindarme lo recursos necesarios para poder culminar mi carrera.
Mis hermanos	Eddy Gilberto López Olcot y Melvin Geovanny López Olcot (q.e.p.d.), Kimberly Stacy del Milagro Porón Olcot, por su infinito apoyo y consejos en el trayecto de mi carrera.
La Facultad de Ingeniería	Por su gran fuente de conocimientos y sabiduría.
Dirección General de Caminos	Especialmente, al Departamento Técnico de Ingeniería.
La vida	Que me ha enseñado a no rendirme ante ninguna circunstancia y valorar mi esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme dado la sabiduría necesaria y así aprovechar la oportunidad de graduarme.
Mis padres	Rudi Edelmiro Porón Alinan Estela Olcot Aju
Mis hermanos	Eddy Gilberto López Olcot (q.e.p.d), Melvin Geovanny López Olcot (q.e.p.d.) y Kimberly Stacy del Milagro Porón Olcot
Ing. Carlos Rafael Figueroa Caballeros	Por su paciencia y apoyo en la realización de este trabajo.
Eduardo Gómez Ayala	Por su amistad, apoyo y consejos en el trayecto de mi carrera.
Ing. Johnny Gaitán	Por sus consejos, confianza, apoyo y amistad.

Arquitecto Dick Valdez

Por su apoyo.

Mis amigos

Que siempre confiaron y me apoyaron
en toda mi carrera.

Mis compañeros de trabajo

Por su apoyo y confianza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. FORMULACIÓN DEL PROYECTO	1
1.1. Proyecto.....	1
1.2. Preinversión	1
1.2.1. Perfil.....	1
1.2.2. Estudio de prefactibilidad	2
1.2.3. Estudio de factibilidad	2
1.3. Ejecución / inversión	2
1.4. Operación y funcionamiento	2
1.5. Perfil de proyecto	2
1.5.1. Nombre del proyecto	3
1.5.2. Objetivos del proyecto.....	3
1.5.2.1. Objetivo general	3
1.5.2.2. Objetivos específicos	4
1.5.3. Justificación del proyecto	5
1.5.4. Descripción del proyecto	6

2.	DISEÑO DE CARRETERAS DE TERRACERÍA	7
2.1.	Diseño preliminar de campo y gabinete	7
2.2.	Diseño y cálculo de localización	9
2.3.	Localización de campo	10
2.4.	Movimiento de tierras	12
2.4.1.	Diseño de subrasante	14
2.4.2.	Cálculo de subrasante	15
2.4.3.	Dibujo de secciones típicas	16
2.4.4.	Cálculo de volúmenes.....	16
2.4.5.	Cálculo de balance	17
2.5.	Drenajes	17
2.6.	Derecho de vía	22
2.6.1.	Ploteo y cálculo de área.....	24
2.6.2.	Plano de registro.....	25
2.7.	Juego de planos	25
2.8.	Contenido básico de una oferta y un contrato	26
2.9.	Instrucciones a los licitantes	27
2.10.	Condiciones del contrato	29
2.11.	Especificaciones técnicas.....	32
2.12.	Planos y lista de cantidades	34
2.13.	Garantías o seguros (fianzas)	35
3.	MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DE TERRACERÍA.....	39
3.1.	Criterios para la selección de maquinaria.....	40
3.1.1.	Trabajo de operación específica a realizar	40
3.1.2.	Especificaciones de construcción	41
3.1.3.	Movilidad requerida por el equipo.....	41

3.1.4.	Tiempo programado para hacer el trabajo	42
3.2.	Características básicas de la maquinaria	42
3.2.1.	Maquinaria de corte y excavación	44
3.2.2.	Maquinaria de carga	50
3.2.3.	Maquinaria de acarreo	54
3.2.4.	Maquinaria de conformación y afinamiento.....	57
3.2.5.	Maquinaria de compactación	60
3.3.	Optimización de la maquinaria en el proceso de construcción de una carretera.....	69
3.3.1.	Selección de maquinaria	69
3.3.2.	Diseño y mantenimiento de caminos de acceso	70
3.3.3.	Formación del terraplén	70
3.3.4.	Mezcla y esparcido de los materiales	70
4.	METODOLOGÍA DE ACTIVIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DE TERRACERÍA	71
4.1.	Movimiento de tierras.....	72
4.1.1.	Retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos.....	72
4.1.2.	Limpia, chapeo y destronque	73
4.1.3.	Excavaciones y terraplenes	74
4.1.3.1.	Excavaciones	74
4.1.3.2.	Terraplén.....	75
4.1.3.3.	Relleno para estructuras	76
4.1.4.	Acarreo libre y acarreo	76
4.1.5.	Uso de explosivos	77
4.2.	Terraplén estructural.....	78
4.3.	Subbase y base	82
4.3.1.	Tratamiento de subrasante	82

4.3.2.	Capa de subbase.....	86
4.3.3.	Capa de base	98
4.4.	Estructuras de drenaje	89
4.4.1.	Alcantarillas	89
4.4.2.	Subdrenajes	92
4.4.3.	Cajas y cabezales para alcantarillas.....	92
4.4.4.	Cunetas revestidas	93
4.4.5.	Bordillos	95
4.5.	Aspectos ambientales	95
5.	CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS	97
5.1.	Variables de cálculo de precios unitarios	98
5.1.1.	Visita de campo	99
5.2.	Rendimientos de la maquinaria	100
5.3.	Cuadro de cantidades de trabajo.....	101
5.3.1.	Ventajas de contratación por la modalidad de precios unitarios	103
5.4.	Cuadro de precios unitarios.....	103
5.4.1.	Metodología para el cálculo de precios unitarios	106
5.5.	Cronograma de actividades.....	111
	CONCLUSIONES.....	115
	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Tractor de banda	45
2. Excavadora	48
3. Excavadora de llanta	50
4. Cargador frontal.....	51
5. Retroexcavadora	53
6. Camión de volteo.....	55
7. Volqueta	56
8. Motoniveladora	68
9. Humedad - densidad (Proctor)	62
10. Compactador pata de cabra	64
11. Compactador de neumáticos.....	66
12. Compactador de rodillo liso	68
13. Limpia, chapeo y destronque	74
14. Construcción de muro de gaviones	81
15. Procedimiento de construcción de la subrasante	83
16. Trabajos de topografía	84
17. Densidad de campo.....	85
18. Colocación de alcantarilla de metal	91
19. Construcción de muro	93
20. Construcción de cunetas	94

TABLAS

I. Obras de arte	19
II. Selección de excavadoras: cadenas vs. ruedas.....	48
III. Rendimientos de actividades.....	102
IV. Cantidades de trabajo	105
V. Integración de precios unitarios.....	110
VI. Cronograma de actividades.....	112

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
PI	Punto de Intersección
PIV	Punto de Intersección Vertical
PC	Principio de curva
PU	Precio unitario
PT	Principio de tangente
U	Unidad

GLOSARIO

AASHTO	Siglas en inglés de <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> : (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes).
Adjudicatario	Oferente a quien se ha adjudicado la negociación.
Autoridad administrativa superior	Autoridad no colegiada que ocupa el órgano jerárquico superior en la dependencia o unidad correspondiente.
Autoridad superior	Es la autoridad que en cada caso determina el artículo 9 de la ley.
Carretera	Vía de tránsito público construida dentro de los límites del derecho de vía.
CBR	Siglas en inglés de: <i>California Bearing Ratio</i> : (Valor Soporte California).

CIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
Contracción	Es el acomodamiento de las partículas del suelo, debido a la acción de compactación.
Contratista	Persona individual o jurídica con quien se suscribe el contrato para la ejecución de una obra o servicio.
Contrato	Instrumento jurídico suscrito entre la institución licitante y la empresa contratista, en donde se norman los derechos y obligaciones de ambas partes, para la ejecución de un determinado proyecto.
Derecho de vía	Área de terreno que el Estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera.
Dolo	No hizo o no ejecutó bien la obra.
El Reglamento	Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, contenido en Acuerdo Gubernativo No.1056-92, de fecha 22 de diciembre de 1,992.
Factibilidad	Evaluación de los indicadores para determinar la posibilidad de ejecutar un proyecto o no.

IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
INTECAP	Instituto Técnico de Capacitación y Productividad.
IRTRA	Instituto de Recreación de los Trabajadores.
ISR	Impuesto Sobre la Renta.
IVA	Impuesto al Valor Agregado.
La Ley	Ley de Contrataciones del Estado, Decreto No. 57-92 del Congreso de la República de Guatemala y sus reformas.
Licitación	Procedimiento para contratar la ejecución de obras.
Metodología	Procedimiento sistemático que describe la forma de llevar a cabo una acción.
Oferente	Persona individual o jurídica que presenta una oferta.

Oferta	Propuesta que presenta por escrito la empresa interesada en participar, en la ejecución de una obra.
Plazo contractual	Periodo en días calendario, meses o años que supone un contratista para el cumplimiento del contrato.
Precio unitario	Valor económico por unidad de medida, para la ejecución de un renglón de trabajo.
Supervisor	Encargado de velar por la calidad de los trabajos y la correcta ejecución de los mismos.
Terraplén	Son los depósitos de material debidamente compactados que se realizan sobre terreno natural para alcanzar el nivel de subrasante.
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual.

RESUMEN

Originalmente, las carreteras fueron trazadas para comunicar o unir ciudades; además influyen notablemente en el aumento de la producción y del comercio. En el diseño geométrico de carreteras deben considerarse distintos elementos que, después de su análisis y cálculo, tendrán que seguir un orden esquemático. Es de vital importancia tener conocimiento de cada uno de los elementos geométricos que las conforman, tanto en la proyección horizontal longitudinal (planta), como en la proyección vertical longitudinal (perfil), pues la unión de ambas formaría la sección típica.

Al conocer ya cada uno de los criterios que se debe aplicar, se procede al diseño, para luego completar el trabajo con el cálculo de las cantidades de trabajo. A todo esto se le debe de agregar la maquinaria necesaria para la construcción de carreteras, que es de vital importancia ya que juega un papel importante en la ejecución del proyecto. Si no se conocen bien las diferentes características y el rendimiento de cada una, esto conllevará a un costo elevado del mismo.

El precio total de un proyecto, depende del cálculo de los precios unitarios, si estos están mal calculados pueden hacer perder una licitación. Por esto mismo se debe tener bien claro, que en la integración de costos, tiene que incluirse el gasto de la maquinaria y equipo que se va a utilizar, los materiales de construcción, el personal necesario, los impuestos, fianzas e imprevistos, que se puedan dar en el proyecto.

OBJETIVOS

General

Constituir un documento de referencia y consulta, para el análisis del costo de una carretera de terracería en el área rural de la República de Guatemala.

Específicos

1. Proporcionar a los estudiantes e ingenieros que se dedican a la construcción de carreteras de terracería, un manual e instructivo que contenga la metodología que pueda usarse para la preparación de presupuestos.
2. Elaborar un manual que contenga lineamientos para la construcción de proyectos de carreteras de terracería con transitabilidad satisfactoria, la cual brinde a su vez un ahorro de tiempo a la hora de trasladarse desde una comunidad a otra.
3. Mejorar la construcción de carreteras de terracería a nivel nacional, a través de la aplicación de un instructivo específico.

4. Favorecer el desarrollo de las comunidades rurales, facilitándoles significativamente el traslado de sus productos a mercados cantonales o comunidades cercanas, con la construcción adecuada de caminos y carreteras.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de desplazamiento de viajeros y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo.

Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y el desarrollo social. Es por tanto indispensable contar con infraestructuras de carreteras que aseguren una circulación eficaz, cómoda y fluida.

La República de Guatemala en el año 2011, cuenta con 14 millones 713 mil 763 habitantes, de los cuales el 53.9% pertenece al área rural; es decir 7 millones 930 mil 719 habitantes; sus actividades económicas destacan en la ganadería y la agricultura. En la mayoría de estas localidades su infraestructura vial la constituyen brechas, caminos de terracería y caminos vecinales. Los costos por transitar en esas vías son altos en comparación con los costos y nivel de servicio que ofrece una carretera de primer orden.

La carencia de vías de comunicación en las áreas rurales del país, desfavorece el desarrollo de las comunidades, por lo que la construcción de carreteras mejora la situación socio-económica y la calidad de vida de estas comunidades.

Con el manual de estimación de costos que se propone, se pretende desarrollar detalles importantes en la planificación de proyectos de carreteras de terracería y con ello dar a conocer el procedimiento de cálculo de costos que componen un proyecto.

El presente trabajo de graduación consta de cinco capítulos, complementados entre sí. En el primero, se menciona la formulación del proyecto, es decir el surgimiento de la necesidad del mismo; en el segundo, el diseño preliminar de una carretera de terracería, movimiento de tierras, obras de arte, planos que debe contener un proyecto, hasta la suscripción de un contrato de este tipo.

En el tercer capítulo, se describen los aspectos relevantes de la maquinaria utilizada para la construcción de carreteras, características y ventajas de cada una; en el cuarto capítulo, se dan a conocer las actividades y las diferentes estructuras de drenaje que lleva una carretera de terracería; el personal, equipo y maquinaria necesaria para este tipo de proyecto.

El capítulo final, se centra en el tema del cálculo de precios unitarios, se da a conocer cómo encontrar el precio unitario de cada actividad, con base en: los requisitos del proyecto, los rendimientos de la maquinaria, el personal y la cantidad de materiales estimada.

Es de interés dejar claro que este manual en ningún caso reemplaza el conocimiento de los principios básicos de la ingeniería, ni sustituye la experiencia y buen criterio que debe ser parte del ingeniero encargado del proyecto.

Por último se incluyen las conclusiones y recomendaciones a que se llegó; se hace mención también de la bibliografía que sirvió de base y sustento para la elaboración del trabajo de graduación.

1. FORMULACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Proyecto

Es conjunto de actividades realizadas por varias personas para conseguir ciertos objetivos, con una clara determinación de enfoque, tiempo, costo, calidad y resultados.

Es un conjunto de elementos relacionados en forma lógica, tecnológica y cronológica, que se ejecutan en un período determinado, que tiene como objetivo resolver un problema, cubrir una necesidad o aprovechar una oportunidad. Un proyecto tiene costos y beneficios que pueden identificarse.

1.2. Preinversión

Abarca los estudios de evaluación del proyecto, es decir: tamaño, localización, beneficiarios (directos e indirectos), los costos de inversión y operación, resultados/productos esperados. Los estudios de esta etapa puede ser a nivel de perfil, estudio de pre factibilidad y estudio de factibilidad.

1.2.1. Perfil

Es aquel documento mediante el cual se define la idea del proyecto, identificando el problema, las posibles soluciones y alternativas técnicas y financieras.

1.2.2. Estudio de prefactibilidad

Se verifica la alternativa propuesta del proyecto, dando énfasis a la propuesta técnica (diseño de la obra física o contenido de la asesoría) y de rentabilidad del proyecto (ingresos iguales o mayores que los egresos).

1.2.3. Estudio de factibilidad

Es cuando se justifica que el proyecto propuesto es la opción más indicada entre las soluciones encontradas, se demuestra que durante la vida útil (período de uso) se garantiza su rentabilidad, además se desarrolla la organización y procesos administrativos para su buen funcionamiento.

1.3. Ejecución / inversión

Contempla la realización de actividades contempladas en la fase de preinversión, para lograr al final de la misma el proyecto propuesto.

1.4. Operación y funcionamiento

Es cuando la población objetivo recibe los beneficios planificados en el proyecto. Es la etapa en donde se logran los objetivos.

1.5. Perfil de proyecto

Se elabora a partir de la información existente, el juicio común, o la opinión que da la experiencia; en términos monetarios solo presenta cálculos globales de las inversiones, los costos y los ingresos, sin entrar a investigaciones de

terreno. Como resultado del perfil, se selecciona la opción de solución que se considere más conveniente.

1.5.1. Nombre del proyecto

El nombre debe ser coherente con la ejecución. Se recomienda no exceder de 12 palabras. Debe expresar en síntesis la esencia del proyecto, respondiendo a los siguientes cuestionamientos: ¿Qué? ¿Sobre qué? ¿Dónde? ¿Para qué? ¿Cuándo?

Con base en las anteriores interrogantes, se eligió el tema: “Manual de Estimación de Costos en Proyectos de Carreteras de Terracería.”

1.5.2. Objetivos del proyecto

Los objetivos deben expresar claramente lo que se desea alcanzar con la ejecución del proyecto. Los objetivos constituyen la razón del ser del mismo. Se basan en las necesidades e intereses que se pretende satisfacer. Constituyen la descripción de una situación deseada y satisfactoria, que se pretende lograr al final del proyecto. Los objetivos hacen referencia a los cambios que se desean en las comunidades, con la solución del problema identificado.

1.5.2.1. Objetivo general

Se orienta a describir la solución del problema que se ha propuesto o diagnosticado. Deben enfatizarse dos cosas: el objetivo general no implica que el proyecto en sí mismo, sería suficiente para lograrlo. Es necesario que el proyecto contribuya de manera significativa al logro del objetivo general. Luego,

la definición del objetivo no implica que se logre cuando el proyecto esté en funcionamiento. Es un objetivo a largo plazo, al cual contribuirá la operación del proyecto. En el caso presente, el objetivo del proyecto será:

Constituir un documento de referencia y consulta, para el análisis del costo de una carretera de terracería en el área rural de la República de Guatemala.

1.5.2.2. Objetivos específicos

Son las soluciones concretas al problema que el proyecto desea atender; es decir los fines inmediatos que se propone alcanzar en un tiempo determinado.

Deben ser concretos y precisos, por lo tanto, cada uno debe incluir un solo logro; así también, deben conducir a los resultados que se desean alcanzar y responder a las causas del problema central y a la manera en que dan solución concreta a cada una de ellas. Estos objetivos se resumen en:

- Proporcionar a los estudiantes e ingenieros que se dedican a la construcción de este tipo de proyectos, un manual e instructivo que contenga una metodología que pueda usarse para la preparación de presupuestos.
- Proporcionar un manual que contenga lineamientos para la construcción de proyectos de carreteras de terracería con transitabilidad satisfactoria, la cual brinde a su vez un ahorro de tiempo a la hora de trasladarse desde una comunidad a otra.

1.5.3. Justificación del proyecto

Debe describir el nivel de gravedad que ha alcanzado el problema identificado, haciendo descripción breve de los efectos. Se expresan las razones que hacen necesaria y viable la ejecución del proyecto. Por ejemplo el mercado que pretende atender, la participación de la población y la sostenibilidad de la propuesta.

Se debe explicar por qué el proyecto es adecuado para solucionar el problema planteado, dando respuesta, entre otros, a los aspectos siguientes:

- En qué medida el proyecto contribuye a solucionar el problema.
- Cómo recibirán el resultado los beneficiarios.
- Justificación de la localización y del área de cobertura.
- Análisis de cómo la tecnología propuesta, contribuye a la solución del problema y a la conservación del medio ambiente, cuando fuera necesario.

En la actualidad el buen uso de un tramo carretero desempeña un papel muy importante en el desarrollo de una población, por lo que es obligatorio buscar mecanismos de acceso para la comunicación necesaria, entre las comunidades rurales de nuestro país; para poder realizar trabajos de este tipo, se deben efectuar estudios e investigaciones pertinentes; posteriormente, se estiman las cantidades de trabajo y se prepara una estimación del costo.

Los profesionales de la ingeniería, docentes y estudiantes de ingeniería civil, tendrán a su disposición un manual simplificado, claro y conciso del

análisis y cálculo de estimaciones de proyectos de carreteras de terracería. El trabajo de graduación coadyuvará al desarrollo del análisis y cálculo de presupuestos de carreteras de terracería.

1.5.4. Descripción del proyecto

En este apartado se hace un detalle de los componentes (partes) y cualidades, características, propiedades del proyecto propuesto, de manera que se pueda formar una imagen mental del mismo; se incluye el tamaño que hace referencia a la calidad o cantidad de producción que genera el proyecto, tomando en cuenta los usuarios potenciales, la población beneficiada y el número de viviendas.

También se incluye la localización, indicando puntualmente su ubicación: calle, avenida y zona en que se instalará o construirá.

En la actualidad, Guatemala cuenta con 14 095 kilómetros de carreteras, de estos 9 232 son de terracería y 4 863 son pavimentadas, lo cual indica que la mayor parte pertenece al área rural. La importancia de las carreteras radica en que siendo la columna vertebral del transporte, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicas. El invertir o no menos de lo necesario, conduce a pérdidas de capital o bien a gastos mayores en el futuro. Guatemala cuenta con 14 millones 713 mil 763 habitantes donde el 53.9% reside en el área rural y el 46.1%, en el área urbana. La construcción de proyectos de carreteras de terracería se vuelve necesaria debido a que la mayor cantidad de habitantes pertenece al área rural y la construcción de este tipo de proyectos ayuda al desarrollo de la economía de las diferentes comunidades.

2. DISEÑO DE CARRETERAS DE TERRACERÍA

Es el proceso que determina las características geométricas que permiten el desplazamiento de vehículos sobre ellas, según las especificaciones que la rigen. Los factores principales para el diseño son: seguridad, comodidad, drenaje y apariencia. El diseño de carreteras de terracería se hace para mejorar el perfil natural del terreno, ampliándole o mejorándole. Pero esto no se termina aquí debido a que siempre hay que tomar en cuenta que en un futuro esta carretera se deberá de asfaltar dependiendo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), de la necesidad de la comunidad y del presupuesto que se tenga y para esto se deberá darle el tratamiento adecuado a la subrasante.

2.1. Diseño preliminar de campo y gabinete

El diseño geométrico de una carretera empieza con la necesidad de unir dos puntos, seleccionando una ruta dentro de varias opciones, basando el trabajo en obtener la que mejor cubra las necesidades de servicio de comunicación para las poblaciones a beneficiar, cuidando los aspectos de diseño y economía.

La selección de ruta se alcanza en mapas topográficos a escala 1:50,000 para que el reconocimiento permita obtener las características del terreno, geológicas, hidrográficas y vías de comunicación existentes; datos sobre los cuales el diseñador debe basarse para ubicar las posibles soluciones.

Con estos datos se hace un reconocimiento de campo que permite afinar las características del terreno para definir si el trazo de la ruta evaluada es factible, evitando pasar por áreas pantanosas, áreas propensas a inundaciones o deslizamientos, y evaluar el desarrollo de los terrenos por donde pasa.

Después de realizar el reconocimiento se procede al levantamiento topográfico preliminar de la línea, donde se debe reconocer el punto de partida, azimut, kilometraje, y cota de salida, incluyendo referencias de variaciones topográficas, ríos, cruces de caminos y otra información que pueda obligar a mover la línea.

El levantamiento preliminar debe incluir: tránsito, niveles y secciones. Cuando los datos del levantamiento preliminar han sido obtenidos, se realiza un trabajo de gabinete por el grupo de diseño, que consiste en la revisión de libretas de campo, para luego calcular coordenadas de cada punto de intersección (PI) con sus distancias y rumbos; con estas se dibujará una planta sobre una cartulina. También se calculan los niveles de preliminar por medio de la libreta de campo, con los cuales se plotea un perfil de las elevaciones en las estaciones de la línea central en un rollo de papel milimetrado, con el fin de mostrar las depresiones y cambios bruscos de nivel.

El trabajo concluye cuando sobre la línea preliminar dibujada en planta se localizan las estaciones para dibujar sus secciones sobre líneas perpendiculares a la línea central, identificando los puntos donde existen orillas de ríos, quebradas, casas y caminos existentes; sobre el mismo se forman las curvas de nivel uniendo los puntos de igual elevación.

2.2. Diseño y cálculo de localización

Consiste en diseñar la línea que servirá para la construcción de la carretera, de la cual se obtienen todos los datos para replantearlos en campo. Para el diseño de la línea de localización se deben tomar en cuenta varios aspectos:

- Selección de puntos obligados: considerar los cruces de la carretera con otros caminos, las zonas de inundación, y la pendiente permisible en taludes de relleno o corte; contemplar si es necesaria la construcción de estructuras de drenaje mayor.
- Diseño de subrasante de preliminar: esta servirá como superficie de rodadura y se basa en los criterios de diseño tratando de encontrar las pendientes que den balance a los cortes, rellenos, y además seguridad al conducir, según el tipo de terreno y sección típica.
- Traslado de sub-rasante a rollo de planta: del perfil donde se diseñó la subrasante se calcula la elevación para cada estación, se traza la elevación sobre la planta de preliminar sobre la sección transversal de la misma estación, marcando con rojo la curva de nivel correspondiente, donde resulta la línea que servirá al proyectista para encontrar la línea de localización.
- El diseño de la línea de localización: es un proceso de tanteos y comparaciones que depende de la habilidad y la práctica. Lo más importante que se debe considerar en el diseño, es la seguridad al tránsito, evitar el paso por pantanos o terrenos con derechos de vía

costosos y en lo posible, pasos por ríos, para evitar la construcción de puentes o tramos con excesivo movimiento de tierras. En resumen, se trata de adaptar el diseño a las diferentes condiciones topográficas de la mejor manera.

El cálculo de localización es un procedimiento matemático por medio del cual se definen totalmente las características geométricas de la línea de localización. Determinando los datos de puntos de intersección, tangentes y los elementos de curvas horizontales, teniendo cuidado de ser exactos en gabinete, para su posterior trazo en campo. Con la información anterior se procede a dibujar un esquema denominado calco de campo, indicando la línea de preliminar y la de localización proyectada en gabinete.

2.3. Localización de campo

Esta actividad consiste en replantear la línea de localización con los datos calculados en gabinete con base en los datos de campo.

El topógrafo usa el método de dobles deflexiones estacionando a cada 20 metros y en puntos intermedios como principio de curva (PC) principio de tangente (PT) y otros que sean necesarios; la única diferencia con la preliminar es que se deben trazar las curvas calculadas en gabinete. Al igual que la línea preliminar, se corre una nivelación de la línea central tomando lecturas en todas las estaciones marcadas durante el trazo, debiendo ser estas perpendiculares en tangente y radiales en las curvas, para obtener un perfil de su sección transversal. El levantamiento de perfiles permite obtener la ubicación de los drenajes menores, por medio de los datos topográficos que definen las

características hidráulicas de la escorrentía, para obtener el tamaño de la tubería o estructura a utilizar. Dichos datos son los siguientes:

- Levantamiento de derecho de vía: debido que hasta ahora se tienen los datos afinados de la localización se realiza un levantamiento topográfico de los terrenos particulares en donde atraviese la carretera, incluyendo los datos siguientes: nombres de los propietarios, así como los límites y colindantes, el número y tipo de cultivo o edificio afectado, la ubicación de los servicios públicos y privados tales como líneas de luz, teléfono, tubería de agua potable y drenajes y el ancho actual de vía del camino existente.
- Aspectos topográficos para el replanteo de localización: con los datos de curva dados se replantea por medio de deflexiones angulares las curvas circulares en campo; en este método los puntos que definen la curva son una deflexión y una distancia a partir del punto anterior. Existen casos donde hay que realizar alguna técnica de trabajo para saltar obstáculos, tal es el caso donde no se puede visualizar toda la curva desde el PC al PT, o donde el PI no se visualiza, o cuando hay algún obstáculo sobre una tangente.
- Referencias: aproximadamente a cada 500 metros, se procura colocarlas en lugares adecuados y fáciles de ubicar, para que, posteriormente, las brigadas localicen la línea. Su construcción se hace de arena y cemento, donde se grabará la siguiente información: número de referencia, estación, ángulo, elevación y distancia en relación a la línea central y fecha.

2.4. Movimiento de tierras

El movimiento de tierras es la actividad más importante en la construcción de carreteras, debido a la influencia que en porcentaje de trabajo representa para el proyecto y el costo que conlleva; además de contemplar las características geométricas de diseño para construir un proyecto seguro al tránsito de vehículos y que cubra las necesidades ya definidas.

Entonces, se tiene que el éxito de un proyecto de carreteras se alcanza en gran parte con un buen diseño, el cual debe basarse en criterios económicos y de seguridad cumpliendo con las especificaciones y normas. Debido a las necesidades de nuestro país y la situación económica actual, existen proyectos que se realizan en forma económica y se descuida un poco el aspecto de diseño; en otras ocasiones sucede que las poblaciones a beneficiar son pequeñas y no existe una relación beneficio/costo que respalde la inversión de un proyecto grande; por otra parte, cuando los proyectos son muy caros no existen recursos para realizarlos.

Es importante mencionar que en la actualidad existen programas de computación que facilitan el procedimiento de diseño de carreteras, pero aún, se sigue empleando el procedimiento manual. Por lo tanto se describen los pasos básicos a seguir y los datos necesarios para el cálculo de movimiento de tierras, haciéndolo de una forma manual; pero que al ser necesario se pueden interpretar los datos para ser utilizados en algún programa.

Con la libreta de secciones transversales de localización se procede a plotear en papel milimetrado las secciones correspondientes al estacionamiento

de la línea central, incluyendo todos los datos de alturas de estructuras existentes como cercos, casas, ríos, etc. cercanos a la línea central.

Debe hacerse un listado de estacionamiento, la colocación de curvas en hojas de movimiento de tierras y determinación de velocidades de diseño; la información se debe colocar en hojas de cálculo de movimiento de tierras, en las que se deberá colocar las estaciones del caminamiento incluyendo PC, PT, tuberías y puentes. En otra columna se colocarán los datos de curva entre las estaciones de PC y PT; además, incluir su peralte, sobreancho y corrimiento. Por último, determinar la velocidad de diseño de acuerdo con el tipo de carretera y las características geométricas siguientes:

- Cálculo de peraltes, sobreanchos y corrimientos: estos son elementos que se calculan en una curva para hacer más segura la circulación de los vehículos sobre ella, con base en especificaciones de diseño geométrico, debiéndose repartir proporcionalmente en la longitud de la curva.
- Determinación de puntos obligados: son puntos donde se debe respetar una altura para el diseño de subrasante, debido a la existencia de parámetros que deben quedar en su lugar y elevación; tal es el caso de estructuras menores de drenaje como tuberías pluviales en donde su relleno mínimo debe ser de 0.60 m; en las estructuras mayores como bóvedas y puentes, la altura mínima está relacionada con las características hidrológicas y el nivel de aguas máximas extraordinarias, para que no dañe las estructuras, zonas de inundación, intersección con otros caminos, etc.

2.4.1. Diseño de subrasante

La subrasante es la elevación que tendrá la carretera en los diferentes puntos del caminamiento del proyecto, esta es la que define el volumen de movimiento de tierras, por lo que su selección debe ser lo más económica, respetando parámetros de diseño. Se debe tener definido el ancho de la sección típica, el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal del mismo, las secciones transversales, las especificaciones de diseño, tipo de terreno, puntos obligados y haber hecho un reconocimiento de campo.

Para determinar la subrasante se procede a trabajar sobre el perfil longitudinal del terreno, una serie de tanteos de pendientes que permitan balancear los rellenos con los cortes, a menos que esto sea imposible.

También, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El coeficiente de contracción e hinchamiento: ya que el volumen del material no es el mismo en su estado original que suelto, y a su vez este no ocupa el mismo volumen en un relleno, variando su valor de acuerdo con el tipo de suelo, humedad, etc.
- Pendiente mínima y máxima: la mínima pendiente a utilizar es aquella que permita drenar las aguas superficiales dependiendo de, si es en corte puede ser igual o mayor a 0.50%, o nula, si es en relleno; ya que la pendiente transversal es suficiente para drenar hacia los taludes. Por otro lado, la pendiente máxima se define por el TPDA y el tipo de terreno, debiendo hacer uso de ella cuando sea necesario; de esa manera se evitará grandes movimientos de tierra.

- Longitud crítica de una tangente en alineamiento vertical: es la longitud máxima en que se puede ascender con un vehículo cargado, con una determinada relación peso/potencia, sin reducir la velocidad más allá de un límite establecido; por lo que se deben emplear pendientes máximas en tramos cortos, o estudiar un posible cambio en el alineamiento horizontal.
- Condiciones topográficas: dependiendo de la región donde se construya un proyecto, esta puede ser en terreno llano, ondulado o montañoso, en los cuales suceden generalidades que marcan su construcción. Además, poner en práctica todas las recomendaciones que ayudan a mejorar el diseño y evitan errores, para obtener un buen funcionamiento de la carretera.

2.4.2. Cálculo de subrasante

Según los criterios del diseñador se obtendrán las pendientes y los puntos donde se intercectan verticalmente (PIV); dibujando estos en el rollo de perfil longitudinal, se obtiene en cada estación una elevación de subrasante que se debe trasladar a las hojas de movimiento de tierra para su posterior procesamiento.

También, se debe determinar las curvas verticales, cuya finalidad es proporcionar suavidad al cambio de una pendiente a otra, es decir suavizar los PIV en una distancia recomendable para ambos lados utilizando especificaciones de diseño.

2.4.3. Dibujo de secciones típicas

El dibujo de secciones típicas sirve para determinar el área que encierra el nivel original del terreno y el nivel de sub-rasante diseñada entre sus respectivos taludes. La sección típica puede ser en corte o en relleno y ubicarse en tangente o en curva; en esta última se debe corregir su peralte, sobreancho y corrimiento.

Correctamente dibujadas las secciones, se procede a calcular el área que existe entre ellas; existen dos métodos para hacerlo: gráficamente, por medio de un planímetro polar se obtienen las áreas de corte y relleno, colocando el valor en la parte superior derecha para su posterior lectura y traslado a las hojas de movimiento de tierras. Analíticamente, se obtienen las coordenadas de los puntos que encierran el área en las secciones; luego, por el método de las determinantes encontrar el área.

2.4.4. Cálculo de volúmenes

El cálculo se basa en encontrar los volúmenes aproximados existentes dentro de dos secciones típicas que están a cierta distancia, entonces, conociendo el área de cada sección se saca un promedio y se multiplica por la distancia que existe entre ellas. En el cálculo se debe analizar si las secciones son de corte o de relleno, o la combinación de ambas; en el último caso, se debe encontrar en forma gráfica cuál es el punto donde el corte se convierte en relleno o viceversa, para multiplicar cada distancia por su respectiva área; a este punto se le conoce como distancia de paso. Tomar en cuenta que el cálculo en curva no se cumple, pero debido a los volúmenes de movimiento de tierra resulta insignificante la variación de resultados.

2.4.5. Cálculo de balance

Es una gráfica que relaciona los volúmenes con los estacionamientos, lo que permite determinar si los cortes son suficientes para alcanzar los rellenos y, aproximadamente, en qué estaciones se balancean. Con los valores obtenidos se plotea la llamada curva de Bruckner o diagrama de masas.

El diseño de la línea de balance es un proceso efectuado por tanteos dentro de los cuales se aproximan los costos unitarios de cada renglón necesario. Para efectuar el movimiento de tierras, dentro de las actividades definidas por el libro azul están: excavación no clasificada, excavación no clasificada de material de desperdicio, excavación no clasificada de material de préstamo, acarreo libre, sobreacarreo y acarreo.

Por ejemplo, si existe un tramo de relleno, se necesita conseguir una cantidad mayor de material de corte de buena calidad para emplearlo en el mismo, debido al coeficiente de contracción; se debe estudiar la distancia a la que se encuentra y calcular el costo del acarreo que conlleva; si la distancia fuera muy grande, se debe evaluar la opción de buscar un banco de préstamo más cercano, siempre que la explotación no resulte más cara.

2.5. Drenajes

El objeto fundamental del drenaje es la eliminación del agua o humedad que, en cualquier forma, pueda perjudicar la carretera; esto se logra si se evita que el agua llegue a ella o bien si se le da salida a lo que inevitablemente llega. Los daños ocasionados por el agua, encarecen el costo de la construcción y el mantenimiento; a veces interrumpen el tránsito. El cuidado en el estudio, no

sólo es aplicable a cruces de grandes ríos, sino para cualquier obra de drenaje, por pequeña que sea, pues el drenaje menor es el que regula la vida de la carretera. El peor enemigo de una carretera es el agua no controlada.

Al drenaje, por ser tan importante en la construcción de una carretera, se le ha denominado también como obra de arte y se clasifica de la siguiente forma: (Ver tabla I.)

Tabla I. **Obras de arte**

O b r a s d e a r t e	Subdrenaje	Drenaje frances Tubería perforada	
		Entradas y salidas de tubería Rectificación de canales Medinas Contracunetas Cunetas	
	Longitudinal		
		Vados	Abovedadas
		Alcantarillas	Elípticas
			Cajas
	Transversal		
		Bóvedas	Viaductos
		Puentes	Pontones
			Circulares

Fuente: elaboración propia.

El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras, deben estudiarse tres problemas:

- La eliminación del agua superficial del camino
- El cruce de los arroyos o de los canales de drenaje artificial
- El alejamiento y regulación del agua subterránea

Este problema resulta de la acumulación de agua en la superficie de rodadura de una carretera. Para solucionarlo, se debe proveer un bombeo en las secciones típicas de la carretera.

Cuando se trata de cortes en trinchera o en media ladera, que se prolongan demasiado, hay que evacuar el agua hacia la ladera, para evitar que el agua que corre en las cunetas sea de mucho caudal, lo que llevaría a un diseño de sección típica con cunetas profundas. Cuando se trata de pendientes relativamente fuertes de la rasante, es conveniente poner gradas en las cunetas, cuyo fin es quebrar la velocidad del agua, para reducir el problema de la erosión, en las propias cunetas.

Cuando la carretera tiene uno o los dos lados en corte, y sobre dicho corte se precipitará agua de la cuenca superior, es conveniente poner contracunetas, que son excavadas más allá de donde llega el talud de corte, a 3.00 metros como mínimo, acostumbrándose en el límite del derecho de vía.

Como limitación, en este trabajo se trata de corrientes bastante pequeñas para ser llevadas por conductos o tubos (simples o múltiples) y corrientes medianas capaces de ser llevadas por tubos de diámetros grandes o arcos metálicos (sencillos o múltiples). Aquí también se incluyen alcantarillas para

corrientes pequeñas y puentes de tubos grandes, en los cuales la parte superior de la estructura no forma parte de la corona del camino.

Para corrientes mayores y ríos se usan puentes, en los cuales el camino es prácticamente parte del claro o estructura del drenaje. Las alcantarillas y puentes de tubos se usan para confinar corrientes y como sostenimiento del camino que pasa por encima de la estructura; se les encuentra en: donde las corrientes naturales o artificiales de agua cruzan un camino, la parte más baja de las depresiones, la intersección de caminos y entradas a granjas, en cuyos casos, forman parte de la cuneta y bajo represas construidas para acumular la tierra arrastrada por la corriente.

A veces, también se confinan las corrientes en cortos tramos para impedir la erosión de las faldas de la vertiente, para evitar que los bordes se humedezcan en demasía y azolven el canal o para lograr que la superficie ocupada por el canal sea usada de manera más provechosa.

Cuando se va a diseñar un proyecto nuevo es de vital importancia realizar una inspección de campo, dándole énfasis a los siguientes renglones:

- Tipo de corriente
- Sentido y pendiente (medir con clinómetro)
- Condiciones del lecho: (ancho, angosto, rocoso, arenoso, piedras sueltas y su tamaño)
- Condición de aguas altas
- Vegetación de la cuenca (clase de cultivos, monte bajo o alto, bosque, etc)
- Esviaje

- Parámetros cuantificables (perímetro, área, tomar varias alturas, dibujar forma del lecho)
- Probables canalizaciones (entrada, salida)
- Determinación de tramos de subdrenaje
- Puntos de erosión

Para proyectos existentes:

- Probables canalizaciones
- Revestir cunetas
- Esviaje
- Vegetación de la cuneta
- Estructuras existentes

Uno de los métodos más empleados para el cálculo de áreas de descarga es el método racional, que relaciona el área a drenar, la intensidad de lluvia y el coeficiente de escorrentía, que son los datos que determinan la cantidad de descarga. También existe el método de inspección, que se basa en observaciones y la información brindada por personas del lugar, para obtener el área de descarga. El método que va a emplearse, depende del interés del diseñador.

2.6. Derecho de vía

Es el derecho que tiene el Estado o las municipalidades, según sea el caso, sobre la faja de terreno que se requiere para la construcción, conservación y reconstrucción de las mismas. Para el efecto, se elaboran los planos de terrenos afectados en el que se definen las áreas que se inscribirán

en el Registro de la Propiedad Inmueble. Se consideran caminos públicos las carreteras nacionales o de primer orden, las departamentales o de segundo orden, las municipales o de tercer orden y los caminos de herradura y vecinales a favor de las respectivas municipalidades.

El derecho de vía para las diversas clases de caminos, tendrá la siguiente anchura, con base en el Artículo 3, del Reglamento sobre el derecho de vía de los caminos públicos y su relación con los predios que atraviesan:

- Para carreteras nacionales: 25 metros
- Para carreteras departamentales: 20 metros
- Para carreteras municipales: 15 metros
- Para caminos de herradura y vecinales: 6 metros

Dentro de ese derecho de vía, se construirán los caminos con la dimensión que la importancia de la vía requiera. Cuando para la construcción de carreteras nuevas o de cambios en el alineamiento o ampliaciones se afecte terrenos de propiedad particular, antes de iniciar los trabajos de construcción, se procederá a adquirir la extensión necesaria, ya sea por donación que de ella haga el dueño, por compensación, con el tramo del camino que se abandone, si así fuera, por venta o por expropiación forzosa. En cada caso se seguirán los trámites necesarios que marquen las leyes.

En el caso de venta o expropiación forzosa, la plusvalía de la propiedad rural, consecuencia de la apertura de una vía o de su mejoramiento, se tomará en cuenta para el aumento de su avalúo en la matrícula de bienes inmuebles.

2.6.1. Ploteo y cálculo de área

Para el ploteo de derecho de vía se necesita una copia de la planta de las hojas finales del proyecto; si el proyecto no tuviera hojas finales, entonces, se utilizará una copia de la planta de los planos de presentación.

Con esta copia y la libreta de derecho de vía, y con la de secciones transversales, se procede al ploteo; este consiste en colocar los cercos que aparecen en la libreta de derecho de vía, los cuales se encuentran radiados con sus ángulos y sus distancias en su respectiva estación, que se ubicará en la planta; se procederá a medir los ángulos tomando como base el punto observado; estos ángulos podrán ser a la izquierda o a la derecha, procediendo luego a medir sus respectivas distancias o con un escalímetro. Cada radiación estará referenciada con una letra que puede ser desde la A hasta la Z.

Los puntos que describan el cerco de la propiedad que se estaba ploteando, deberán unirse en la planta y dejarse indicados los nombres de los propietarios; todas las propiedades deben quedar totalmente delimitadas para poder calcular su área y calcarla en los planos de registro.

El cálculo de áreas tiene procedimientos muy variados; todos tienen que llegar a un cálculo de coordenadas en (Y) y en (X) latitud y longitud, respectivamente, para luego, por medio de un sistema matricial, calcular el área con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\sum(YX) - \sum(XY)}{2}$$

Las coordenadas deben ser calculadas en cada punto que describa el área de un propietario; cada punto se puede visualizar fácilmente en la planta

donde fueron ploteados los cercos. El calculista podrá utilizar varias formas para hallar las coordenadas totales, por ejemplo: triángulos, rectángulos, ley de senos, ley de cosenos, intersecciones, relaciones de triángulos, etc. Existirán casos donde el área de la figura que deberá encontrarse, está dada por una fórmula, por ejemplo, de un triángulo, de un trapecio, de un sector, etc.

Para cada plano deberán dejarse indicadas, de una forma resumida clara y precisa, las operaciones y fórmulas para encontrar el área.

2.6.2. Plano de registro

Por último, se elabora un plano de registro con la información necesaria: nombre del proyecto, departamento y municipio, área en metros cuadrados, norte y rumbo, estacionamientos afectados de la línea central, distancia de los lados del área del terreno, colorear de rojo el área, nombres del propietario, colindantes, escala, datos del dibujante, topógrafo que lo levantó e ingeniero de diseño.

Este plano se presenta al departamento de derecho de vía del departamento de carreteras de la DGC, para registrarlo en libros previo a su revisión.

2.7. Juego de planos

El juego de planos representa la información final del proceso de diseño, por lo que debe hacerse lo más claro y detallando la información necesaria para poder leerlos, seguramente habrá que hacer correcciones por parte del ingeniero proyectista.

El juego de planos finales contempla:

- Hoja título
- Localización
- Planta y perfil general
- Banco de materiales
- Cuencas hidrológicas
- Sección típica de terracería
- Detalles de drenajes
- Planos planta-perfil
- Muros cabezales con alas a 45° para tubería
- Muros cabezales en “L” para tubería
- Muros cabezales rectos para tubería
- Procedimiento gráfico para determinar la longitud de una tubería con cabezales
- Plano de señalizaciones

2.8. Contenido básico de una oferta y un contrato

Una oferta está formada por una serie de documentos que se deben presentar en una licitación y que demuestran el interés de realizar un servicio; están regidas a las bases de presentación de ofertas que varían según la institución a la que se oferte y al tipo de trabajo que se va a realizar.

Las bases para la elaboración de ofertas tienen como finalidad informar al licitante del alcance de los servicios requeridos, las obligaciones que adquiere para con el propietario en el caso de ser adjudicatario y los procedimientos a que deberá someterse y respetar, para elaborar las respectivas ofertas.

2.9. Instrucciones a los licitantes

Las bases, por lo general, para conocimiento de los licitantes, incluyen los siguientes documentos y acciones:

- Disposiciones generales: aquí se presenta la información sobre el alcance de la licitación, la fuente de los fondos, quiénes pueden ser licitantes elegibles, calificación del licitante, una oferta por licitante, costo de la licitación y visita a la zona de obras.
- Documentos de licitación: incluyen todos aquellos datos que los licitantes deben conocer para la elaboración de sus ofertas, el procedimiento que deben seguir, los formatos y formularios que deben utilizar para presentarlas, especificaciones técnicas, planos, lista de cantidades y formularios de garantías; además, aclaraciones y enmiendas de los documentos de licitación.
- Preparación de las ofertas: es la forma en que deben prepararse los datos y documentos que los licitantes deben aportar en su oferta, desde el idioma y moneda de la oferta, lista de cantidades, precios, validez y garantía de seriedad de la oferta, hasta las propuestas alternativas de los licitantes, formato y firma.
- Presentación de las ofertas: indica el plazo, hora y lugar de presentación de las mismas; no se aceptan ofertas tardías.
- Apertura y evaluación de las ofertas; el contratante abrirá las ofertas en presencia de los representantes de los licitantes que decidan concurrir; a

la hora, en la fecha y lugar especificados, se dará a conocer los nombres de los licitantes, los precios de las ofertas y el monto total de cada una de ellas. El proceso se hará con la debida confidencialidad, el contratante puede solicitar la aclaración de ofertas, se examinarán las mismas para determinar si se ajustan a las condiciones de licitación; dentro de las ofertas que cumplan el examen anterior se verificará si contienen errores aritméticos para su corrección, ajustando el monto indicado en la oferta.

Las ofertas deben evaluarse en la moneda del país del contratante, únicamente se evaluarán y compararán las ofertas que se ajustan, sustancialmente, a los documentos de licitación. Si así lo indican los datos de licitación, los contratistas nacionales pueden recibir un margen de preferencia en la evaluación de sus ofertas.

- Adjudicación del contrato: el contratante adjudicará el contrato al licitante, cuya oferta se ajuste, sustancialmente, a las condiciones de los documentos de licitación y haya sido evaluada como la más económica, a condición de que ese licitante es elegible y cumple con los requisitos de calidad y otros, evaluados en la calificación. Por lo regular, dentro de los datos de licitación existe una cláusula del derecho del contratante a aceptar cualquier oferta y a rechazar cualquiera o todas las ofertas, sin que exista responsabilidad de su parte.

Luego de haber seleccionado a la oferta ganadora, se procede a la notificación de la adjudicación que constituye el contrato, con sujeción al suministro de la garantía de cumplimiento y a la firma del contrato que incorporará todos los acuerdos entre el contratante y el adjudicatario. Todo lo

anterior, requiere que en el proceso de adjudicación no existan prácticas corruptas o fraudulentas para darle validez.

2.10. Condiciones del contrato

Un contrato es la celebración de una serie de cláusulas, entre el contratante y el contratista para ejecutar, terminar y mantener las obras de acuerdo a lo estipulado en el mismo. De manera general, un contrato está conformado por los documentos siguientes:

- Contrato
- Carta de aceptación
- Oferta del contratista
- Datos del contrato
- Condiciones del contrato
- Bases de licitación
- Especificaciones técnicas
- Especificaciones económicas
- Disposiciones especiales
- Planos de construcción
- Estimación de cantidades de trabajo

Aquí se establecen todas las especificaciones especiales que el contratista deberá ejecutar en cada actividad que incluye el proyecto, de tal forma que la calidad sea la requerida y se cumpla con las condiciones técnicas y económicas bajo las cuales los suministros y servicios deben llevarse a cabo, así como con las instrucciones referentes al personal asignado, reportes y documentación, notificaciones y comunicaciones a lo largo del contrato.

De forma más amplia, un contrato tiene ciertas condiciones que lo definen y lo componen:

- Disposiciones generales: aquí se incluyen las definiciones de las palabras y expresiones utilizadas en el contrato, y la interpretación que se le da a las mismas. Además, se definen otras como: idioma y ley aplicable, decisiones del gerente de obra, delegación de funciones, comunicaciones entre las partes, subcontratistas, otros contratistas, personal, riesgos del contratante y del contratista.

También deben tomarse en cuenta los seguros a contratar, informes de investigación de la zona de obras, consultas acerca de los datos del contrato, construcción de las obras por el contratista, terminación de las obras en la fecha prevista, aprobación por el gerente de obras, seguridad, descubrimientos, posesión de la zona de las obras, acceso a la zona de las obras, instrucciones, controversias, procedimiento para la solución de controversias y reemplazo del conciliador.

- Control de plazos, dentro de lo establecido en los datos del contrato: el contratista presentará al gerente de obras, para su aprobación, un programa en el que consten los métodos generales, procedimientos, secuencia y calendario de ejecución de las actividades relativas a las obras. Si existiera un evento justificado, se dará una prórroga a la fecha prevista de terminación, o a solicitud del contratante se solicitará la aceleración de las obras, o la demora a conveniencia del proyecto. Para revisar la programación de los trabajos pendientes es necesario realizar reuniones administrativas entre las partes y resolver los asuntos que

afecten la programación, dando aviso anticipado si existen eventos que puedan perjudicar la calidad, elevar el precio o demorar la ejecución.

- Control de calidad: el gerente de obras supervisará el trabajo del contratista y le notificará los defectos que encuentre, el control se hará mediante pruebas contempladas en las especificaciones; todos los defectos encontrados se corregirán por parte del contratista sin costo adicional.
- Control de costos: la lista de cantidades de trabajo deberá contener los rubros correspondientes a la construcción, montaje, prueba y puesta en servicio de los trabajos que deba ejecutar el contratista, pagándose por la cantidad de trabajo realizado al precio unitario para cada rubro especificado en la lista de cantidades. Además, se debe tener criterio para definir situaciones como: la modificación de cantidades, variaciones, pago de variaciones, predicción del flujo de fondos, certificación de pago, pagos, eventos compensables, impuestos, moneda, ajuste de precios, retenciones, liquidación por daños y perjuicios, bonificaciones, anticipo, garantías, trabajos por día y costo de las reparaciones.
- Terminación del contrato: el contratista solicitará al gerente de obras que emita un certificado de terminación de las obras y el gerente de obras lo emitirá cuando decida que las obras están terminadas; el contratante se hará cargo de la zona de obras y de las obras dentro del plazo estipulado cuando se haya hecho su respectiva recepción. El contratista presentará una liquidación detallada de los montos que se le adeudan en virtud del contrato, el gerente de obras los certificará y en su defecto mandará una

lista de correcciones que fueran necesarias; luego, al haber hecho dichas correcciones se procederá a la liquidación final.

El contratista deberá presentar los planos finales y/o manuales de operación y mantenimiento, actualizados en la fecha estipulada. En estas cláusulas se incluyen los motivos por los cuales puede rescindirse el contrato por cualquiera de las partes, la forma de efectuar los pagos posteriores a la rescisión del contrato, la forma en que se actuará sobre la propiedad de los bienes y las obras y la liberación de obligaciones que da lugar por frustración del contrato.

2.11. Especificaciones técnicas

En las especificaciones técnicas se establece:

- La magnitud y el alcance del trabajo que se va a desarrollar, tanto para el diseño como para la ejecución.
- Las características que deben reunir los componentes de la obra total terminada.

Dentro de las disposiciones técnicas relacionadas con los proyectos de carreteras, que deben ser mencionadas en los términos de un contrato están las siguientes:

- Autoridad del delegado residente: es la persona que decidirá sobre todos los problemas que puedan presentarse respecto de la calidad y aceptabilidad de los materiales entregados, el trabajo ejecutado, los procedimientos constructivos empleados y el ritmo de ejecución de la

obra; además deberá resolver todas las dudas que puedan surgir en relación con la interpretación de los planos y especificaciones y todas las interrogantes que se presenten sobre el cumplimiento aceptable del contrato por parte del contratista.

- Control del trabajo: el contratista proporcionará al delegado residente, a los ingenieros auxiliares y a sus inspectores, las facilidades para que puedan verificar si el trabajo en ejecución y los materiales que se están utilizando concuerdan con los planos y las especificaciones. Tal inspección puede abarcar la totalidad o cualquiera de las partes del trabajo, incluyendo la preparación y fabricación de los materiales que se utilizarán.
- Control de la calidad: el contratista, con su propio laboratorio, es el encargado de controlar la calidad de su propia producción y corregirla cuando haya desviaciones de los límites de aceptación.
- Programa de trabajo: este deberá cumplirse, a menos de que se ordenen trabajos que aumenten o disminuyan los contemplados, originalmente.
- Libros y registros: el contratista deberá mantener libros y registros relacionados con el proyecto; estos registros serán de tipo contable, adecuados para identificar los bienes y servicios financiados por el contrato.
- Trabajos sin pago estipulado: cualquier trabajo que aparezca en las bases de licitación, las cantidades de trabajo estimadas, planos, anexos, documentos que indiquen algún tipo de trabajo y no esté incluido en los

cuadros de las cantidades de trabajo estimadas, sin pago específico asignado, deberá ser considerado por el oferente, tanto la cantidad de trabajo como el costo unitario y el costo total, en el renglón afín al trabajo no considerado.

- Plazo contractual: este plazo está dado en las bases de licitación y es el tiempo estimado para concluir los trabajos, satisfactoriamente; algunas veces se solicita que el contratista lo proponga.
- Bitácora: desde el primer día del plazo contractual hasta la recepción final de las obras, el contratista deberá mantener un libro avalado por el ente otorgante, cuya función será, exclusivamente, para que el delegado residente pueda dejar instrucciones u observaciones por escrito, que deberá acatar el contratista.
- Disposiciones ambientales: son los controles que deben aplicarse de medidas correctivas a los impactos negativos y/o mejorar condiciones o procedimientos constructivos, velando por la salud y seguridad del personal del contratista, de los pobladores beneficiados, directamente, con la construcción del proyecto.

2.12. Planos y lista de cantidades

Los planos de detalle de la obra están contemplados dentro de la documentación, al igual que la lista de cantidades que componen el proyecto.

Los planos son los documentos que contienen cálculos y otra información proporcionada, aprobada por el gerente de obras para la ejecución del contrato.

La lista de cantidades es la que ha sido debidamente preparada por el licitante, con indicación de las cantidades de trabajo que se van a ejecutar.

2.13. Garantías o seguros (fianzas)

Las fianzas pueden ser una garantía hipotecaria que el contratista debe proporcionar al contratante para el cumplimiento del contrato.

Las fianzas que forman parte de las bases de contratación y que aparecen a continuación, deberán formalizarse mediante una fianza emitida por instituciones autorizadas para operar en Guatemala.

- Fianza de garantía de sostenimiento de oferta: la firmeza de la oferta se caucionará con depósito en efectivo o mediante fianza, por un porcentaje fijado en las bases dentro de los límites que permite la ley, no menor del 1% ni mayor del 5%, basado en el precio de la oferta, incluyendo impuestos. Cubrirá el período comprendido desde la recepción y apertura de las plicas, hasta la aprobación de la adjudicación y, en todo caso tendrá una vigencia de ciento veinte (120) días. Sin embargo, con el adjudicatario puede convenirse su prórroga.

Esta garantía se hará efectiva por las causas siguientes: si el adjudicatario no sostiene su oferta, si no concurre dentro del plazo que estipula la ley a suscribir el contrato respectivo, o, si habiéndolo firmado, no presenta la garantía de cumplimiento dentro del plazo de 15 días, fijado por la ley. En cualquiera de los casos, quedará sin efecto la adjudicación de la negociación.

- Fianza de anticipo: es la garantía del buen uso que se va a hacer del anticipo que se otorgue al contratista en virtud de un contrato. El contratista constituirá garantía mediante fianza o hipoteca por el monto de un cien por ciento (100%) del anticipo.
- Fianza de cumplimiento: para garantizar el cumplimiento de todas las obligaciones estipuladas en el contrato, el contratista deberá prestar fianza, depósito en efectivo o constituir hipoteca en los porcentajes y condiciones que señale el reglamento. Para el caso de las obras, además esta garantía cubrirá las fallas o desperfectos que aparecieren durante la ejecución del contrato, antes de que se constituya la garantía de conservación. Se constituirá dicha garantía cuando se trate de bienes, suministros y servicios, por el 10% del monto del contrato respectivo, y cuando se trate de obras, por un valor del 10% al 20% del monto del contrato respectivo, a criterio de la autoridad administrativa superior.

Con este 10% o 20%, según sea el caso, se cubrirá el pago de salarios prestaciones laborales de los trabajadores, y con el porcentaje restante, el cumplimiento del contrato de acuerdo con las especificaciones, planos y demás documentos contractuales, así como la ejecución de la obra dentro del tiempo estipulado.

- Fianza de saldos deudores: para garantizar el pago de saldos deudores que pudieran resultar a favor del Estado, de la entidad correspondiente o de terceros en la liquidación, el contratista deberá prestar fianza, depósito en efectivo, constituir hipoteca o prenda, a su elección, por el 5% del valor original del contrato. Esta garantía deberá otorgarse, simultáneamente, con la de conservación de obra, como requisito previo para la recepción

de la misma. Aprobada la liquidación, si no hubiere saldos deudores, se cancelará esta garantía.

- Fianza de conservación de obras: se hará mediante fianzas, hipotecas y depósitos en efectivo que cubran el valor de las reparaciones de las fallas y desperfectos que le sean imputables y que aparecieren durante el tiempo de responsabilidad de 18 meses, contados a partir de la fecha de recepción de la obra. La garantía de conservación de obra deberá otorgarse por el 15% del valor original del contrato. El vencimiento del tiempo de responsabilidad de 18 meses, no exime al contratista de las responsabilidades por destrucción o deterioro de la obra debido a dolo o culpa de su parte, por el plazo de 5 años a partir de la recepción de la obra.

3. MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

El tema de la maquinaria está íntimamente ligado con la metodología de actividades para la construcción de carreteras; además, el conocimiento de la maquinaria es imprescindible para la estimación de costos, por lo tanto, en el presente capítulo se describe la maquinaria más común que existe en el mercado y la función que tiene cada una en el proceso constructivo.

La construcción de carreteras contempla diversas etapas, las cuales se llevan a cabo con un grupo de maquinaria, conocido, comúnmente, como convoy de maquinaria; la maquinaria puede ser propia o arrendada, pero, en ambos casos su costo es elevado; por ello, es de vital importancia conocer con detalle, cuál es el trabajo que se puede realizar con cada máquina, para seleccionar adecuadamente, la maquinaria más eficiente para el trabajo requerido.

La primera parte del trabajo, explica el proceso de selección de maquinaria y los factores que se toman en cuenta para dicho fin. El conocimiento de la actividad que se va a realizar y la producción necesaria, son los factores más importantes que deben considerarse. Luego, se procede a explicar detalladamente cuál es la operación de cada máquina, en qué condiciones se utiliza y las partes que la componen. Permitiendo de esta forma, aprender su función y en qué fase del proceso se emplea. Aquí se adjuntan algunas fotografías para el conocimiento físico de la misma. Seguidamente, se trata de explicar los factores del rendimiento de la maquinaria para realizar el

trabajo. Este es un tema, muy difícil de dominar, ya que se requiere de datos que varían de proyecto en proyecto, y por lo tanto, no se obtienen con exactitud. La experiencia y el conocimiento de las condiciones del terreno, permiten obtener mejores resultados.

Por último, se expone el tema de la optimización de la maquinaria en un proceso completo de construcción de carreteras, para obtener así una mayor eficiencia.

3.1. Criterios para la selección de maquinaria

Por lo general, cada máquina tiene un cantidad limitada de actividades a realizar y en algunas es más eficiente que en otras, entonces, los criterios de selección se deberán utilizar preferiblemente en donde su volumen de producción sea mayor, pero no limitándose a esta.

Para la selección de la maquinaria, el factor más importante a considerar para realizar una operación de construcción es la facilidad de conservación, debido al costo tan elevado de operación y la depreciación que esta tiene.

Hay otros factores significativos que deben ser considerados en la selección de maquinaria, dentro de los cuales están:

3.1.1. Trabajo de operación específica a realizar

Es el factor principal de la selección de la maquinaria para lograr el trabajo requerido. El concepto de trabajo u operación específica a realizar tiene varios

aspectos generales en la selección de maquinaria. El problema comprende el conocimiento de:

- El trabajo físico a efectuar, al realizar la operación
- La disponibilidad del espacio de trabajo
- La disponibilidad de potencia

Lo anterior se resume así: cada máquina está diseñada para realizar una función específica, necesita de cierto espacio para poder maniobrar y dispone de cierta potencia.

3.1.2. Especificaciones de construcción

Cuando existen limitaciones de espacio de trabajo, el planificador de la construcción debe recurrir a su conocimiento acerca de la variedad de posibles máquinas y de especificaciones de cualquiera de ellas que elija. Por ejemplo, para la compactación del material existe diversidad de rodos, pero la elección se hace con base en el tipo de material que se va a compactar y los requisitos de compactación; no es lo mismo compactar materiales arcillosos que arenosos.

3.1.3. Movilidad requerida por el equipo

Si el lugar de trabajo se encuentra en un lugar remoto muy subdesarrollado, será diferente la consideración de necesidades en cuanto a maquinaria de accionamiento, de la que se tendría para un trabajo a desarrollar en un área urbana. En consecuencia, la selección de la maquinaria se basa, en cierto grado, en la disponibilidad de fuentes de energía, para accionar la

maquinaria. La planificación de las necesidades de potencia de una maquinaria en particular se rige a menudo por sus especificaciones. Para los equipos que han de trabajar durante largos períodos, el motor diesel es por lo general el más económico.

3.1.4. Tiempo programado para hacer el trabajo

En la mayoría de veces, cuando se preparan las ofertas para los proyectos, se debe presentar un programa que indique la duración de las actividades, y se deberá respetar el mismo, hasta donde sea posible. El programa se prepara con base en los rendimientos esperados según las circunstancias de cada proyecto, previendo cualquier atraso posible. Por ejemplo, si la necesidad de avance es mayor, se puede pensar en aumentar la jornada de trabajo o la cantidad de maquinaria.

3.2. Características básicas de la maquinaria

Es importante conocer las propiedades de cada máquina para realizar el trabajo, tales como: su operación, las partes que la componen y en qué condiciones se utiliza. De esta manera, se sabrá cuál es su función y en qué fase del proceso se emplea.

Describiendo a grandes rasgos el proceso de construcción de carreteras y la maquinaria empleada, se tiene que los trabajos empiezan con la limpia, chapeo y destronque del terreno y luego la excavación no clasificada; para dichas actividades se tienen que emplear: tractores, excavadoras y, algunas veces, camiones de volteo, si la distancia hasta donde se va a depositar el material de corte es lejana; si el material fuese roca, se necesita un equipo de

barrenación y explosivos para el aflojamiento del material. Simultáneamente, puede ocurrir la formación de terraplenes o rellenos que deben trabajarse controladamente con materiales adecuados, donde se deberán emplear tractores, compactadoras y alguna forma para llevar el material al lugar de relleno.

Luego, se formarán las capas que componen el pavimento, utilizando bancos de materiales previamente evaluados y de calidad especificada; en donde se debe emplear maquinaria para excavarlos, triturarlos, y si es necesario, transportarlos, tales como: trituradoras, tractores, excavadoras, cargadores y camiones; para después mezclarlos, homogenizarlos y compactarlos en capas, empleando, motoniveladoras (patroles), compactadoras y regadoras.

Además de lo descrito, anteriormente, se necesita de la construcción de otras partes que forman la carretera que, regularmente, son más pequeñas en envergadura, pero no menos importantes, tal es el caso de: muros, cunetas, bordillos y tuberías, que forman parte del drenaje menor de la carretera. También, se debe tomar en cuenta la señalización vertical y horizontal y la colocación de los dispositivos de seguridad. En cada uno de ellos se necesita maquinaria y equipos especiales para su construcción.

En resumen, la clasificación de la maquinaria para la construcción de carreteras puede hacerse considerando el trabajo que realicen o teniendo en cuenta la función que ejecutan en la construcción. De esta manera, un tractor se clasifica como una máquina de excavación de material consolidado, es decir como una máquina que corta, empuja y dispone el material ya suelto. Otra forma, consiste en identificar una maquinaria por la operación del proyecto de

construcción en que interviene. Por ejemplo: un tractor, generalmente, trabaja en una operación de terracerías, al igual que las excavadoras y los cargadores de orugas.

3.2.1. Maquinaria de corte y excavación

Se le denomina corte al material no clasificado que se excava dentro de los límites de construcción para utilizarlo en la construcción de terraplenes. Para tal efecto, se utiliza la siguiente maquinaria:

- Tractores para obras de tierra

Estas son las primeras máquinas que entran al corte del cerro, ladera, etc., debido a que dominan las pendientes fuertes. La utilización del tractor en la construcción de una carretera es necesaria, debido a la gran variedad de labores que realiza y se puede emplear para empujar, limpiar, destroncar y hacer excavaciones cortas.

El equipo de corte está constituido, fundamentalmente, por tractores de oruga provistos de cuchilla cortadora accionada por cable o hidráulicamente, la cual puede estar fija, en posición transversal al eje longitudinal del tractor o en posición esviada respecto del mismo. Estas cuchillas móviles pueden ser accionadas hidráulicamente o por medio de pines para graduar el ángulo de esviaje, según convenga. Pueden ser equipados con diversos tipos de accesorios, como: cuchilla empujadora, angular o en V, y escarificador. Las condiciones de carga para el tractor, varían desde las relativamente ligeras y uniformes, hasta la aplicación de

la fuerza para mover una piedra muy grande, arrancar una raíz o derribar un árbol.

El desmonte o despeje de terrenos es una operación que requiere, frecuentemente, de un tractor con hoja angular especial de empuje y de accesorios de desgarramiento. A continuación se presenta una fotografía de un tractor de banda, ejecutando trabajos de corte en el movimiento de tierras.

Figura 1. **Tractor de banda**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Jutiapa.

Cuando el terreno es rocoso es necesario hacer uso de los explosivos para poderlo remover, lo cual implica el uso de un equipo especial de perforación, para poder introducir los explosivos y luego hacerlos estallar.

Existen varios tipos de equipo de perforación y son seleccionados dependiendo de la naturaleza del terreno y clase de roca, profundidad y tamaño de las perforaciones, tipo de roca a producirse y tamaño de los bloques que se van a romper.

Cuando el tractor se mueve hacia delante, su hoja frontal se encaja en el terreno, cortándolo para obtener su carga. El tractor debe recorrer algunos metros para obtener su carga completa. El tractor con hoja frontal de empuje es la máquina óptima para el movimiento de tierra a distancias cortas, desde un mínimo de 15 metros, aproximadamente, hasta 90 m.

Existen también tractores de ruedas, equipados con llantas neumáticas, que dan como resultado mayor velocidad de conducción que no es posible con los tractores de oruga (20 kph); la velocidad que se obtiene con estos tractores excede a los 45 kph; son capaces de servir para muchos propósitos en los que no se pueden usar tractores de oruga. La alta velocidad de estos tractores, proporciona mucha ventaja en el acarreo de material a distancias largas. Sin embargo, la alta velocidad que se obtiene, disminuye la fuerza de tracción en razón inversa.

Además del trabajo de corte que realizan los tractores de oruga y ruedas, también existe otro tipo de equipo adicional que realiza trabajos que siguen un lineamiento más definido, como zanjas y ciertos vaciados; entre ellos se tienen:

- Excavadora
- Retroexcavadora
- Pala mecánica

Esta maquinaria es usada cuando el terreno está formado por material que no presenta mayores dificultades respecto del corte.

- Excavadoras

Las excavadoras son máquinas que cortan material y pueden disponerlo en alrededores cercanos o cargarlo. Son utilizadas en cortes de taludes, explotación de bancos de material, excavación de zanjas, dragados de ríos, etc. Se utilizan, principalmente, para perforar debajo de la superficie natural del terreno, sobre la cual descansa la máquina. Están adaptadas para la excavación de trincheras, pozos, sótanos y trabajos generales de excavaciones escalonadas, en donde se requiere un control preciso de las profundidades. A causa de su rigidez, son superiores a las dragas cuando operan en espacios pequeños, y para cargar camiones.

Las excavadoras tienen en su extremo frontal una pluma firme que soporta un miembro excavador que tiene un cucharón en su extremo, sujetado, directamente, al frente de la superestructura giratoria de 360°. Las variables en las excavadoras son la potencia, capacidad de levantamiento, capacidad de los cucharones, longitud de sus plumas y el tamaño de sus bandas; por lo tanto, pueden variar su tamaño y velocidad y la aplicación de cada una de ellas. Además, existen configuraciones especiales que se pueden acoplar a las excavadoras como, por ejemplo: desgarradores, martillos de demolición y dientes especiales, según el tipo de material.

Las excavadoras más usadas, comúnmente, son de bandas; pero también existen las excavadoras de llantas, cada una tiene sus propias características que le brindan preferencia según sea la aplicación.

Tabla II. **Selección de excavadoras: cadenas vs. ruedas**

Características	
Cadenas	Ruedas
Flotación	Movilidad y velocidad
Tracción	No dañan el pavimento
Maniobrabilidad	Mejor estabilidad con estabilizadores o con hojas

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Excavadora**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Jutiapa.

Si la aplicación no requiere demasiado movimiento de un sitio a otro o en la obra misma, una excavadora de cadenas puede ser la mejor opción. Las excavadoras de cadenas proporcionan buena tracción y buena flotación, en casi toda clase de terrenos. La potencia constante con la barra de tiro proporciona excelente maniobrabilidad. El tren de rodaje de cadenas proporciona también buena estabilidad. Si la aplicación requiere cambiar con frecuencia la ubicación de la máquina, una excavadora de cadenas proporcionará una operación más eficiente, porque el subir y bajar, frecuentemente, los estabilizadores toman demasiado tiempo.

Los neumáticos permiten que la excavadora se desplace por carreteras pavimentadas para trabajar en centros comerciales, zonas de estacionamiento y otras zonas pavimentadas sin dañar el pavimento. Su movilidad le permite desplazarse por sí misma con rapidez de un sitio de trabajo a otro, o de un lugar a otro dentro de un sitio de trabajo. Es ideal para cargar camiones en espacios reducidos.

Figura 3. **Excavadora de llanta**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Jutiapa.

3.2.2. Maquinaria de carga

El equipo de carga puede estar compuesto por la siguiente maquinaria:

- Cargador frontal

El cargador es un tractor, montado sobre orugas o sobre ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal. El cucharón está instalado para excavar o cargar tierra o material granular, levantarlo, acarrearlo cuando sea necesario, y vaciarlo desde cierta altura.

Un cargador de llantas de hule es comúnmente utilizado para cargar material suelto. Por otro lado, el cargador de cadenas, por su fuerte tracción, es utilizado en bancos de materiales pudiendo cortar y luego cargar, ya que se equipa con un cucharón de dientes.

Figura 4. **Cargador frontal**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Sololá.

El cargador frontal se introdujo como otro accesorio para hacer más versátil el tractor de orugas y atender el problema de limpieza de los alrededores de los sitios de construcción. El tractor equipado de hoja topadora solo podía empujar el exceso de material o desperdicio hacia un lado; en cambio el cargador de cucharón frontal podía levantarlo y cargarlo en camiones. En la actualidad, el cargador frontal tiene gran aplicación y

aceptación. Una de las aplicaciones más comunes es la carga de materiales.

Otro uso común que se da a los cargadores es la excavación para cimentaciones. En tal caso, sólo son aplicables cuando la dimensión horizontal es más pequeño, por lo menos igual al ancho del cucharón, si no es que varias veces mayor. Si la dimensión más corta del fondo de la excavación es, por lo menos, el doble de longitud del cargador, no contando el cucharón, puede disponerse la operación para cargar camiones al nivel de la cimentación. Un tercer uso importante del cargador frontal es la carga del material de voladuras; el espacio es limitado en una excavación en roca, de un túnel o cantera. En tales casos, el cargador tiene una ventaja sobre la pala mecánica, por su pluma y demás partes salientes.

- Retroexcavadoras

Estas máquinas son muy versátiles y de gran aplicación en la construcción debido a que pueden realizar algunos trabajos efectuados por una excavadora y un cargador frontal en menor volumen, ya que dispone de un cucharón frontal y un brazo con un cucharón pequeño similar al de una excavadora. Su tamaño permite maniobrabilidad para realizar trabajos livianos como: excavación de zanjas, corte de taludes, cargar material suelto en camiones, traslado de materiales, etc.

Las retroexcavadoras están montadas sobre ruedas, lo que permite el desplazamiento rápido a distancias largas. Algunas retroexcavadoras de modelo reciente, permiten por medio de acoplamientos especiales, utilizar

accesorios en el cargador, tales como: cepillos barredores, rastrillos, cortador de asfalto, y cucharón de descarga lateral; y, en el brazo excavador, herramientas como: martillo hidráulico, compactador de plancha vibratoria, desgarrador, etc. A continuación se incluye una fotografía de una retroexcavadora cargando una volqueta.

Figura 5. **Retroexcavadora**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia El Progreso.

- **Pala mecánica**

Este tipo de maquinaria se usa, principalmente, para excavar tierra y cargarla a los camiones. Tiene la capacidad para excavar toda clase de material, exceptuando la roca sin aflojamiento previo; pueden estar montadas sobre orugas o bien sobre ruedas; las que están montadas

sobre orugas tienen poca velocidad, pero tienen la ventaja que reduce la presión sobre el suelo lo que permite la operación en terrenos suaves o flojos. Las palas mecánicas montadas sobre llantas de hule, por su mayor movilidad debido a su velocidad, son usadas para trabajos, pequeños donde tienen que trasladarse constantemente; son muy útiles en mantenimiento de carreteras.

3.2.3. Maquinaria de acarreo

El equipo de acarreo está compuesto, básicamente, por camiones y volquetas. Los camiones pueden ser clasificados con base en varios factores, entre los que se pueden incluir los siguientes: tamaño y tipo de motor, número de velocidades, clase de manejo, número de ruedas y ejes, distribución de las ruedas de propulsión, dos ejes, cuatro ejes, seis ejes, método de votar la carga (por atrás o por un lado), clase de material a acarrear, y capacidad en toneladas. La unidad de acarreo de materiales más usada en nuestro medio es el camión de volteo; en algunas ocasiones se usan los camiones de estacas.

Figura 6. **Camión de volteo**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Totonicapán.

El camión de volteo es adecuado para emplearse en el acarreo de muchos tipos y clases de materiales. La forma de la carrocería, así como la cantidad de ángulos agudos, esquinas y el contorno de la parte trasera a través de la que deben fluir los materiales durante la descarga, afectarán la facilidad y/o dificultarán la misma. Las cajas de los camiones que se utilicen para acarrear arcilla húmeda, y materiales semejantes, deben estar libres de ángulos agudos y esquinas. La arena seca y la grava fluirán, fácilmente, en casi cualquier tipo de caja. Si se va a acarrear cantera, las cajas deberán ser de poca profundidad y con redilas inclinadas.

A continuación se observa la fotografía de una volqueta que está siendo cargada por una excavadora.

Figura 7. **Volqueta**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia El Progreso.

La selección del número adecuado de unidades para acarreo en una operación dada en movimiento de materiales, depende de un análisis completo del trabajo. Dicho análisis, debe considerar cada una de las partes del ciclo de trabajo de cada máquina. Para una operación de movimiento de materiales el ciclo comprende:

- La carga
- El acarreo
- La descarga
- El retorno y acomodo para la siguiente carga

3.2.4. Maquinaria de conformación y afinamiento

Cuando el material es colocado sobre la carretera, es necesario regarlo en capas uniformes y homogéneas con un contenido de humedad determinado, de acuerdo con las especificaciones de laboratorio, para lograr una buena compactación.

- Motoniveladora

El afinamiento final de la superficie es ejecutada por la motoniveladora o patrol, pues es una tarea que requiere bastante exactitud para dejar una superficie perfectamente nivelada.

La motoniveladora es una máquina que se utiliza para mover la tierra u otro material suelto. Generalmente, su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración predeterminada. Es de particular utilidad porque su hoja puede mantenerse en varias posiciones. A esta hoja, también, se le llama conformadora o moldeadora, su hoja estándar tiene de 3.66 a 4.27 metros de longitud.

La motoniveladora se usa para una gran variedad de operaciones de construcción. Esta versatilidad se debe a la flexibilidad de sus acciones.

Su utilidad se aumenta mediante accesorios que puede manejar, como dientes o uñas escarificadoras, ensanchadores de pavimentos y unidades elevadoras de material, accesorios de fácil colocación en ella.

Un uso básico de la motoniveladora es como su nombre lo sugiere, la conformación y nivelación final de toda la anchura del camino. Esto comprende no solo la base para la superficie del camino, sino también los acotamientos transversales, las pendientes laterales de los taludes y las pendientes transversales desde la superficie del camino. Con el accesorio de hoja corta que prolonga hacia abajo a la hoja estándar, la motoniveladora puede excavar una trinchera en forma de caja, de poca profundidad.

Figura 8. **Motoniveladora**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Sololá.

Otro tipo de operaciones de caminos que la motoniveladora realiza es el trabajo que no es de acabado final; una de estas operaciones, es por ejemplo, el mantenimiento de caminos de acceso para otros equipos de movimiento de tierras o camiones. La motoniveladora sirve para mover el suelo, y así lograr una superficie de recorrido razonable uniforme y eliminar las huellas longitudinales que se forman en los terrenos blandos sujetos a tránsito. Otra operación que cabe en esta categoría, requiere la adición de un escarificador montado, generalmente, al equipo; puede usarse para romper la superficie de un pavimento viejo y flexible, para reconformación o preparación y recibir una mejor superficie.

La motoniveladora es también muy útil para mezclar y extender materiales sobre una superficie. La hoja conformadora trabaja mezclando los materiales previamente colocados sobre el lecho del camino, en pilas longitudinales. Esto puede hacerse para los rellenos de tierra compactada o para operación de mezcla de pavimentación. En este último caso, puede tratarse de mezcla de materiales asfálticos o bituminosos, con agregados para lograr una pavimentación flexible, o bien puede tratarse de mezclar materiales para formar una superficie de suelo cemento.

La gran facilidad de maniobra que tiene la motoniveladora, la hace útil para nivelar aeropuertos o grandes áreas para construcción. Para hacer este tipo de trabajos con mayor precisión, las mismas están provistas de controles automáticos de la hoja. Estos permiten al operador ajustar la hoja a la inclinación deseada y dar una línea de inclinación establecida. La cuchilla puede ser colocada a la profundidad deseada, girarse también a voluntad y empujar la tierra en línea o en ángulo deseado. Los movimientos de la cuchilla afinadora son hidráulicos para mayor precisión;

las motoniveladoras están equipadas de 3 a 6 engranajes, con velocidades que varían de 3.5 a 35 kph; las velocidades bajas se usan para la operación de afinamiento y nivelación; las altas, para transportarlas.

3.2.5. Maquinaria de compactación

La compactación de los materiales es una de las operaciones más importantes y delicadas en la construcción de una carretera, por lo tanto, es necesario contar con el equipo adecuado de acuerdo con los materiales que se van a trabajar, para obtener resultados satisfactorios, y así evitar pérdidas de tiempo y elevación en el costo de la obra.

La compactación es la operación mecánica de elevar la densidad del suelo, o sea el peso por unidad de volumen. Se acepta, generalmente, que la fuerza del suelo aumenta con la densidad. Hay tres factores importantes que afectan la compactación:

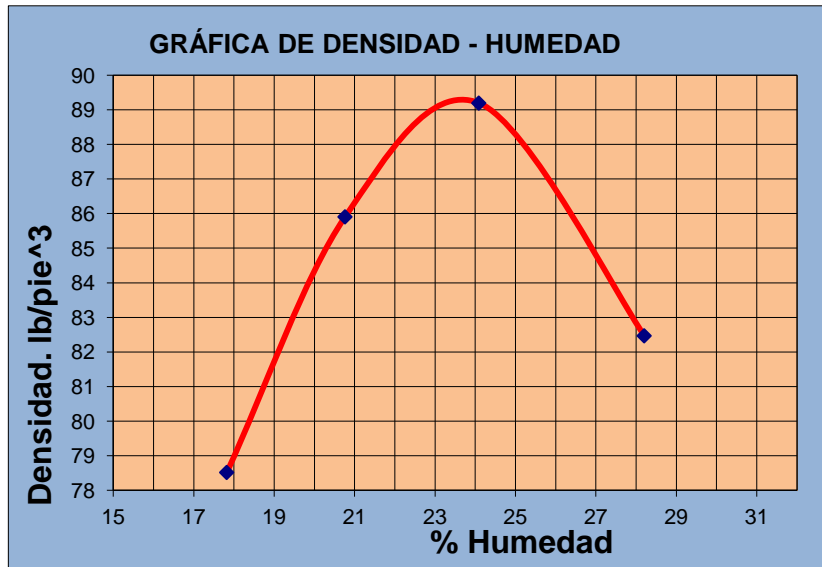
- **Graduación del material:** es la distribución en porcentaje del peso, de las partículas de diverso tamaño en un suelo determinado. Se considera que una muestra está bien graduada si contiene una granulometría bien distribuida y uniforme en los tamaños de partículas. Si la mayor parte de las partículas es del mismo tamaño, se dice que su granulometría es inadecuada. En términos de compactación, un suelo bien graduado se compactará más fácilmente que un suelo con mala granulometría. Cuando el material está bien graduado, las partículas pequeñas llenan los espacios vacíos entre las partículas más grandes y quedan menos espacios vacíos después de compactar.

- Contenido de humedad: la cantidad de agua que existe en el suelo, tiene gran importancia en la compactación. El agua lubrica las partículas de suelo, lo que facilita su deslizamiento a las posiciones de mayor densidad. Además, el agua mejora la unión entre las partículas de arcilla, que es lo que da cohesividad a diversas materias. Se sabe por experiencia, que es muy difícil y tal vez imposible, obtener la debida compactación si los materiales están muy secos o muy húmedos.

Se ha demostrado que para casi cualquier tipo de suelo corresponde un cierto contenido de agua, denominado grado óptimo de humedad con el que es posible obtener la densidad máxima con una fuerza determinada de compactación.

La gráfica siguiente muestra la relación entre la densidad en estado seco y la que resulta cuando hay humedad. Se denomina gráfica de compactación, de Densidad - humedad, o Proctor.

Figura 9. **Gráfica de Densidad - humedad (Proctor)**



Fuente: elaboración propia.

- Esfuerzo de compactación: se refiere al método que se utiliza con una máquina de compactación a fin de aplicar energía mecánica en el suelo, con el objeto de apisonarlo. Los compactadores se diseñan para utilizar una o varias de las formas siguientes de esfuerzo de compactación.
 - Peso estático, o presión
 - Acción de amasamiento, o manipulación
 - Percusión, golpes fuertes
 - Vibración, sacudimiento

El equipo de compactación se clasifica generalmente en uno de los tipos siguientes:

- Compactador tipo pata de cabra

El principio original para usar el compactador del tipo pata de cabra, continúa ampliándose en toda la variedad de diseños modernos. Las pezuñas o salientes de otras formas que pueden encajarse alrededor de medio pie en material suelto, constituyen la clave de la ventaja de este tipo de compactador. Trabajan mejor en materiales arenosos con algo de barro cementante. Si se descarga la tierra suelta en capas de 6 a 10 pulgadas de espesor, se logra correspondencia correcta al diseño de la pata de cabra.

Las patas se entierran para amasar y apisonar el material fresco hacia la capa compactada previamente, mientras la parte sólida del compactador aplica presión sobre la parte superior de la nueva capa; a medida que el nivel inferior de la capa se va compactando, el compactador del tipo pata de cabra va pisando en el seno del relleno, niveles más y más altos, al aumentar el número de pasadas. Se dice, entonces, que el rodillo va caminando hacia fuera del material.

Para producir una masa cohesiva y bien consolidada, es mejor no compactar hasta la superficie superior de cada capa.

Generalmente, el compactador de pata de cabra trabaja moviéndose a través del material suelto, en vez de rodar sobre él. Esto significa que la mayor preocupación en el uso de este tipo de maquinaria es su resistencia al rodamiento, la cual puede ser de hasta 500 libras por tonelada.

Una característica especial de diseño de las unidades de tambores montados en ejes alineados, como las ruedas de un camión, es que cada tambor puede moverse, independientemente, hacia arriba y hacia abajo, de acuerdo con la configuración del relleno. Estas unidades tienen dispositivos limpiadores para el material que se haya adherido entre las patas. Ambas características ayudan a reunir la resistencia al rodamiento.

Figura 10. **Compactador pata de cabra**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Chiquimula.

- Compactador de neumáticos

En estas máquinas, los neumáticos producen una acción de amasado del material, que se transmite radialmente, desde abajo del neumático para ayudar a consolidarlo; el compactador de neumáticos es una máquina diseñada, especialmente, como equipo de compactación, que combina la acción de amasado con la del peso estático. Las ruedas están montadas en dos ejes, de tal manera que las ruedas posteriores pasan por los centros que quedan entre las líneas formadas por los neumáticos frontales. Por lo tanto, tienen un número impar de neumáticos, generalmente, de 9 a 19.

Hay en el mercado unidades autopropulsadas de peso total de 5 a 50 toneladas. Las compactadoras de este tipo pueden trasladarse a velocidades no mayores de 50 kmp.

Para la compactación de terraplenes granulares o material de subbase, se usa una variante especial del compactador con neumáticos. Se llama compactador de ruedas oscilantes y tiene las ruedas montadas libremente en otro eje, por lo que puede oscilar o cabecear de un lado a otro. Una característica de diseño de los compactadores de neumáticos es que tienen una acción individual de rodilla. Cada neumático puede moverse verticalmente sobre gran cantidad de material descargado, de tal manera que la aplanadora no deje área alguna sin compactar.

Figura 11. **Compactador de neumáticos**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Chimaltenango.

- **Compactador vibratorio**

Recientemente, se diseñó maquinaria de compactación para aplicar acción vibratoria. El efecto consiste en dar más profundidad al esfuerzo del compactador en la mayoría de los materiales granulados, en vez del que se logra con peso estático y acción de amasado. Esto significa que se puede colocar y compactar capas más gruesas del material suelto. Sin embargo, no se aplica a los terrenos del más del 15% de arcilla u otro material cohesivo.

Un compactador vibratorio puede hacerse en forma, relativamente, simple con la conversión de una aplanadora ordinaria de rodillos lisos de acero o de un compactador del tipo de pata de cabra. El diseño consiste, simplemente, en agregar uno o más pesos de rotación, excéntrica, al eje del compactador.

- Compactador de placa vibratoria y de impacto

Además de los diversos compactadores de rodillo, hay dos de tipo impacto; estos son unidades que entregan impactos de sucesión rápida sobre el material que se compacta. La forma de producir su energía para estos compactadores puede ser simplemente, mediante pistón de aire del tipo martinete y, también, puede producirse por pesos excéntricos situados dentro de un depósito en forma de caja, con una placa en el fondo.

Un compactador de placas requiere menos pasadas que un rodillo vibratorio para obtener la compactación deseada. Generalmente, dos pasadas del compactador de placas vibratorias dan el 90% o más de compactación. La compactación se hace por vibración con frecuencia que oscila entre 1200 y 6000 impactos / minuto.

- Aplanadora de rodillo liso

El tipo más moderno de aplanadora de rodillos lisos de acero son los llamados Tandem. Se le llama aplanadora Tandem para indicar que uno de los rodillos sigue la misma trayectoria que el otro. Las aplanadoras de rodillos lisos de acero van equipados

generalmente, con barras raspadoras y dispositivos de aspersión. Esto impide que los rodillos arrastren el material en una vuelta completa y que, por lo tanto, se produzcan irregularidades adicionales durante la compactación.

Las aplanadoras pequeñas del tipo Tandem de dos ejes, con capacidad de 3 a 5 toneladas, se equipan con neumáticos de rodamiento de ambos lados del aparato, entre los ejes de los rodillos. Estos neumáticos se levantan durante la operación de aplanado pero, pueden bajarse para despegar los rodillos de la superficie y servir como ruedas de arrastre para remolcar la aplanadora con un camión.

Figura 12. **Compactador de rodillo liso**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Sololá.

3.3. Optimización de la maquinaria en el proceso de construcción de una carretera

Dentro de las principales etapas de la construcción de carreteras, están las siguientes:

- Selección de maquinaria
- Caminos de acceso
- Corte y relleno
- Área de carga
- Drenaje y subdrenaje
- Formación del terraplén
- Mezcla y esparcido de materiales
- Pavimentación

3.3.1. Selección de maquinaria

Es el aspecto clave para asegurar el éxito en toda construcción, y especialmente, en el área de carreteras. Se tendrán que tomar en cuenta varios factores:

- Determinar producción por hora
- Distancia de acarreo
- Condición del suelo
- Espacio disponible
- Necesidad de excavación
- Movilidad de maquinaria

3.3.2. Diseño y mantenimiento de caminos de acceso

Es importante observar los errores más comunes que el contratista comete y que afectan directamente a la productividad del proyecto. Dentro de los factores que se deben tomar en cuenta en el diseño correcto están:

- Utilizar como ruta de acceso el mismo tramo por construir
- Amplitud y señalización de los caminos
- Zanjas de desagüe
- Motoniveladora para darle mantenimiento
- Reconocer que un buen diseño reduce tiempos muertos de maquinaria.
- Conocer las técnicas de producción en el área de corte con la excavadora, cargador frontal y retro excavadora.

3.3.3. Formación del terraplén

Cada una de las capas que componen el terraplén tiene sus propias especificaciones. Es importante la buena comunicación y coordinación de los procesos para evitar que las máquinas interfieran con el área de trabajo del compactador, que es la máquina más importante en este caso.

3.3.4. Mezcla y esparcido de los materiales

La motoniveladora es la máquina principal de producción en la mezcla de bases. El número de máquinas extras que se usan en el proceso dependerá de la producción de esta.

4. METODOLOGÍA DE ACTIVIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

En este capítulo, se pretende mencionar la metodología de forma práctica y de fácil comprensión de las actividades más comunes en la construcción de carreteras, involucrando la maquinaria, equipo, material y personal; así también la función que cada uno tiene en el proceso constructivo.

La construcción de carreteras es el proceso constructivo que permite acondicionar los suelos para ajustarlos a un diseño según el tipo de terreno, por lo general, las actividades son repetitivas, lo que varía es la dificultad que depende mucho de las condiciones topográficas y el tipo de suelo; pueden existir desde pequeños cortes hasta la apertura de brechas en grandes montañas; asimismo, puede combinarse con rellenos en lugares inestables, pantanosos o con mucha agua y con la excavación en terreno rocoso donde sea necesario el uso de explosivos. Debido a esta razón, no es posible estandarizar los trabajos que varían de proyecto en proyecto.

Todos los trabajos referentes a este capítulo, son coordinados por el ingeniero superintendente del proyecto y apoyados por el grupo de auxiliares, laboratoristas, topógrafos, operadores, mecánicos, maestros de obra, albañiles y peones; según sea la magnitud del proyecto puede ser tan completo que se necesite de varios ingenieros que tengan una sección específica a su cargo, además del personal administrativo.

Por otra parte, se tiene, que la aprobación de los trabajos es responsabilidad del ingeniero delegado residente que debe contar con sus auxiliares en cada rama de trabajo que se va a efectuar.

Para llevar a cabo la construcción de carreteras es necesario basarse en las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, donde se dan las normas que deben cumplirse en cada una de las actividades de las diferentes etapas de la construcción; además, en algunas ocasiones se tiene otro tipo de normas dependiendo de la institución contratante o de las fuentes de financiamiento.

4.1. Movimiento de tierras

El movimiento de tierras en una carretera comprende todos los trabajos para la preparación o construcción de la subrasante, no incluyéndola, en donde se realiza: el retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos; la limpieza, chapeo y destronque; excavaciones, terraplenes y rellenos que constituyen las estructuras necesarias para el funcionamiento adecuado de la carretera. Además, el acarreo de los materiales no clasificados provenientes del corte y de préstamo. Si fuese necesario, debe recurrirse al uso de explosivos, según el tipo de material.

4.1.1. Retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos

Como su nombre lo indica este trabajo consiste en remover todos los obstáculos y estructuras que existan dentro de los límites de la carretera, como por ejemplo postes de luz, construcciones como casas o edificios que sean

imposibles de salvar, tubería de drenajes, etc. Según sea el tipo de estructura, este trabajo debe hacerse con maquinaria de demolición, que puede ser un tractor, una excavadora con martillo, un cargador frontal y camiones para la disposición en lugares adecuados, o equipo más liviano como retroexcavadoras, minicargadores, etc.

Su medida se debe hacer con la unidad que más se adecue, ya sea por el número de metros cuadrados o metros lineales. Dentro del personal necesario para este trabajo se incluye a operadores de maquinaria, personal de topografía, banderilleros, ayudantes, entre otros.

4.1.2. Limpia, chapeo y destronque

Consiste en el retiro de toda la maleza, tala de árboles y corte de la capa de suelo vegetal (aprox. 30 cm) existente en la sección comprendida del derecho de vía, previo al inicio de los trabajos de terracería. Este trabajo puede realizarse con maquinaria forestal; equipos como motosierras son muy empleados; además, los tractores de banda que cortan y retiran el material en distancias cortas. A veces es necesario disponer el material de corte en áreas destinadas para ello a distancias más lejanas, donde se emplearán cargadores, camiones o volquetas, según sean las condiciones del terreno. La medición de este renglón se hace por el número de hectáreas debidamente limpiadas.

Figura 13. **Limpia, chapeo y destronque**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Cobán.

4.1.3. Excavaciones y terraplenes

4.1.3.1. Excavaciones

Una excavación se entiende como la operación de cortar material no clasificado dentro o fuera de los límites de construcción de conformidad con el trazo de la carretera o camino. Dentro de la maquinaria más comúnmente empleada para esta actividad, se tiene: la excavadora de banda, tractores de banda, cargadores, camiones de volteo, volquetas, etc. El personal necesario consiste en operadores, personal de topografía para marcar los límites de construcción y ayudantes que efectúen trabajos menores como manejo de tráfico u otros. La medición para fines de este renglón se efectúa por el número

de metros cúbicos obtenidos por medio de secciones transversales del lugar donde fueron extraídos, en su estado natural.

Es importante mencionar que el equipo y personal de topografía juega un papel primordial en todas las actividades de movimiento de tierras hasta llegar a la pavimentación, ya que ellos son los encargados del marcaje de los cortes y niveles de los mismos; información que debe ser expresada con exactitud y debidamente leída del diseño o los planos. Dentro de los distintos tipos de excavaciones que existen, se enumeran las siguientes:

- Excavación no clasificada: de desperdicio y para préstamo
- Excavación de canales
- Excavación estructural para estructuras mayores y menores como: cimentaciones de estructuras, para alcantarillas, subdrenajes y gaviones.

Por lo anterior, se concluye que la maquinaria necesaria se selecciona según las condiciones y el tipo de trabajo que va a realizarse y que muchas veces se vuelven repetitivas.

4.1.3.2. Terraplén

El relleno y compactación de las áreas de terreno natural, previamente, preparado, donde se necesita llegar al nivel de subrasante; existe diversidad de condiciones donde se hace necesario la construcción de terraplenes con distintos tipos de materiales como suelo y roca, pero el procedimiento es similar y consiste en rellenar y nivelar el terreno, inicialmente, a un nivel uniforme para luego hacerlo en varias capas sucesivas de material, debidamente, compactadas hasta llegar a la subrasante.

Dentro de la maquinaria empleada se tiene que en su conjunto, se necesita una excavadora que corte el material en el banco y luego lo cargue a los camiones o volquetas que lo acarreen y depositen en el área del terraplén, donde se necesitará una máquina que lo reciba y lo distribuya uniformemente; aquí se puede emplear una motoniveladora, una retroexcavadora, un cargador frontal u otro que, dependiendo de las condiciones de espacio y del tipo de material, sea el más adecuado; luego se necesita una compactadora que al igual que las otras máquinas, se debe seleccionar el tipo y el tamaño.

Dentro del personal requerido está el laboratorista que se encarga de chequeos de las densidades de compactación y control de la calidad de los materiales; también se necesita de un topógrafo, operadores, ayudantes y otros. La medida se hace al igual que el inciso anterior.

4.1.3.3. Relleno para estructuras

Es el relleno que se construye en los accesos de un puente, sobre la superficie exterior de una bóveda o en la excavación de las alcantarillas. En cada caso se debe seleccionar el tipo de maquinaria para compactación, carga y acarreo de los materiales; luego, se debe hacer los chequeos de laboratorio y revisar los niveles finales del mismo. La medida se hace por el número de metros cúbicos medidos en su posición final.

4.1.4. Acarreo libre y acarreo

Los materiales que pueden ser incluidos y cobrados bajo este renglón son: los no clasificados, provenientes del corte y de préstamo, para ser utilizados en la construcción de terraplenes, así como el material de desperdicio.

El acarreo libre consiste en el acarreo de los materiales anteriormente descritos a una distancia menor o igual a 1,000 metros. Su costo debe ser incluido en el precio unitario del renglón que corresponda.

El acarreo consiste en el traslado de los materiales anteriormente descritos a una distancia que exceda de 1,000 metros. Su medida debe hacerse por el número de metros cúbicos/kilómetro; el volumen del material es medido según su estado original y la distancia es el centro de las distancias entre el banco y el lugar donde será depositado, menos la distancia de acarreo libre.

4.1.5. Uso de explosivos

Cuando los terrenos son rocosos y demasiado duros se hace necesario el uso de explosivos para aflojar el material. Otro uso común, es la explotación de bancos de material duro. Se deben hacer pruebas para los trabajos y tramitar todos los permisos y licencias relativos a este trabajo. Para ello, se debe contar con un experto en explosivos que determina las cantidades que se van a utilizar según el tipo de roca y el tamaño de corte que se desee producir en la roca. El procedimiento consiste en perforar la roca a una profundidad y distancia calculada.

Dentro del equipo empleado en este trabajo están los barrenos propulsados por compresores; otro equipo más grande son los llamados *track-drill* que tienen mandos hidráulicos; entre los explosivos se incluyen: dinamita, lechadas, gelatinas de agua, emulsiones, agentes para la explosión, explosivos de iniciación, detonadores y cables para la detonación. Aparte del experto se debe contar con barrenadores y ayudantes para la colocación de explosivos.

4.2. Terraplén estructural

Dentro de este título entran todos los trabajos que comprenden la construcción de estructuras para la protección de taludes, márgenes, estructuras de drenaje y para el control de la erosión. Existen diferentes tipos de terraplenes estructurales dentro de los cuales se pueden mencionar: zampeado de roca con o sin mortero, muros o rellenos de roca, también conocidos como muros secos, gaviones, muros con geosintéticos, anclajes permanentes, muros de retención de concreto reforzado, muros de suelo enclavado y concreto lanzado.

En este tema no se explicará con detalle cada uno de los tipos de terraplenes estructurales, solo se describirá en qué se basan los criterios de selección de los mismos, pues, como toda obra de ingeniería, se busca encontrar la solución más adecuada y segura al problema en estudio, buscando la economía, pero no siempre aplicándola.

Todos los trabajos que van a realizarse deben ser debidamente cimentados y compactados para soportar las fuerzas a las que serán sometidos por los esfuerzos estáticos y dinámicos y previstas para los tipos de fallas que puedan ocurrir. Además, deberán cumplir con todas las especificaciones de diseño y construcción de la obra, que se han calculado.

Cuando ya se haya determinado cuál será el terraplén que se va a construir, se debe programar el equipo y maquinaria que va a utilizarse; asimismo, el suministro de los materiales de calidad y emplear mano de obra calificada. Debido a que entrar en detalle en este tema se tornaría largo y tedioso, por lo tanto, cualquier consulta se debería de profundizar en fuentes

especiales; se considera que para efectos de este trabajo de graduación, se debe mencionar únicamente los siguientes tipos de terraplenes:

- Zampeado

El zampeado consiste en la colocación de roca a mano o mecánicamente con o sin mortero sobre una superficie lisa para la protección de taludes o estructuras, empleando o no geotextil. Se debe cumplir con todos los requisitos de los materiales a utilizar. La medida se puede hacer por el número de metros cuadrados o por metro cúbico.

- Muros o rellenos de roca

También se conocen como muros secos, debido a que, no se utiliza mortero para unir las rocas y consiste en la colocación de roca acomodada manual o mecánicamente, para formar muros de forma regular o irregular que soporte las cargas a las que será sometido. Cuando se piense en esta solución se debe tener roca disponible en medidas adecuadas o pensar en la extracción de la misma con alguna máquina de corte, además se necesitan camiones o volquetas que trasladen la roca al lugar de construcción; si la distancia fuese corta se puede emplear un cargador.

Lo más importante a considerar es la forma más práctica para la colocación de la roca, por ejemplo: si fuese un muro de protección a la orilla de un río con una altura considerable, se dejaría caer la roca desde la parte alta, cuidando no afectar el cauce o pensar en la posibilidad de colocar la roca con una excavadora o grúa. La medición de este trabajo se hace por el número de metros cúbicos.

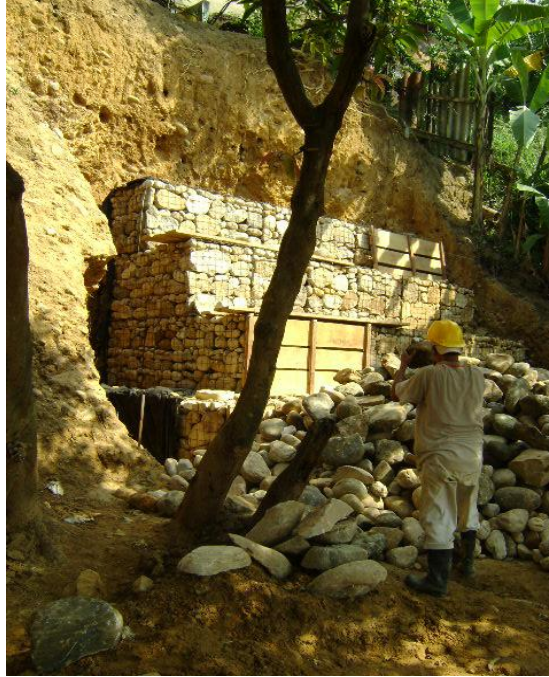
- Gaviones y colchones

Los gaviones son utilizados como muros de contención, protección de márgenes de ríos y carreteras, apoyos de puentes, etc. Las dimensiones del muro deben ser diseñadas por métodos de cálculo de ingeniería que chequeen los diferentes tipos de esfuerzo a los que serán sometidos.

Un muro de gavión está formado por varias cajas de alambre con forma definida, regularmente rectangular e interconectados, los cuales se llenan de roca colocada manualmente cuidando mantener su alineación; se contempla la colocación de geotextil en la parte trasera previo al relleno con material adecuado. La malla que forma las canastas debe ser lo suficientemente resistente a los esfuerzos de tensión que soportarán internamente y al estar entrelazados.

Para la construcción de un muro de gaviones según las condiciones que se tengan, se debe hacer excavación para el cimiento empleando maquinaria de corte, una excavadora, o manualmente, luego se debe contar con personal para armar las cajas y rellenarlas, el relleno del muro se debe hacer conforme se avanza en la altura para lo cual se coloca el geotextil y debe transportarse el material de relleno al lugar, para luego colocarlo y compactarlo con bailarina o rodo.

Figura 14. **Construcción de muro de gaviones**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia El Progreso.

Los gaviones pueden ser tipo colchón o de tipo caja rectangular entre los cuales las diferencias son las dimensiones: ya que el tipo colchón tiene menos de 0.30 m en su altura vertical y los de tipo caja rectangular miden de 0.50 m en adelante. Además, existen gaviones con revestimiento que traen una protección adicional contra la corrosión y agentes contaminantes que pueden afectar su vida útil; dentro de los más comunes en el mercado se encuentran: los revestidos de cloruro de polivinilo, los galvanizados y los aluminados. La medida de este trabajo se debe hacer por el número de metros cúbicos trabajados.

4.3. Subbase y base

El diseño de pavimentos consiste en determinar los espesores de cada capa componente y los factores que se toman en cuenta para el cálculo son:

- Las cargas de tránsito
- Las características de los materiales
- Los factores climáticos

Entonces el diseño se obtiene con base en las cargas que se prevean y a los materiales que se tienen disponibles; es por eso que existen diversas alternativas para la construcción de sub-bases y bases, y la selección se hace comparando costos.

4.3.1. Tratamiento de subrasante

La sub-rasante es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura del pavimento y se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Las formas en que puede construirse son sobre una carretera existente o una estabilización de subrasante.

El procedimiento de construcción en ambos casos consiste en realizar los pasos siguientes: escarificar con el *riper* de la motoniveladora a una profundidad de 0.20 metros hasta aflojar el terreno, para luego homogenizar o dar la humedad con la regadora hasta alcanzar la humedad óptima, mezclando, (en campo a este paso se le conoce como camellonear, con la cuchilla de la motoniveladora) los materiales hasta uniformizarlos, conformándolos hasta los

niveles dados por la topografía, por último, se procede a la compactación con el rodo.

En resumen, la maquinaria necesaria para llevar a cabo el trabajo consiste en: una motoniveladora, un rodo compactador y una regadora.

Figura 15. **Procedimiento de construcción de la subrasante**



Escarificación



Homogenización



Mezclado



Compactación

Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Morales, Izabal.

En este proceso se contempla que el personal necesario y el trabajo que se realice sea el siguiente: el equipo de topografía será el encargado de replantear los niveles del diseño por medio de maderas o trompos y debe existir un grupo de ayudantes encargados de velar porque que se mantengan en su lugar durante y después del trabajo con la maquinaria.

Figura 16. Trabajos de topografía



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Cobán.

Cuando la maquinaria está en el proceso de mezcla se debe procurar llegar a la humedad óptima, para lo cual es muy importante la experiencia del patrero, para pedir el agua que considere necesaria y contar con la supervisión constante de un laborista que calcule humedades con el *speddy* u otro método. Por último, cuando los materiales han alcanzado la mezcla necesaria, se afinan hasta llegarlos a los niveles definidos y se procede a compactar la subrasante, hasta alcanzar la densidad óptima que será comprobada por medio del ensayo de densidad de campo que efectúe el laborista.

Figura 17. **Densidad de campo**



Fuente fotografía tomada en ruta hacia El Progreso.

La estabilización de la subrasante se da cuando los materiales existentes no cumplen con los requisitos mínimos de diseño y se necesita incrementar alguna propiedad como el caso del CBR, lo que hace necesario adicionar algún tipo de material estabilizador como: cal hidratada, cal viva, granza de cal, lechada de cal, puzolanas naturales o artificiales, escoria granulada de alto horno o compuestos estabilizadores químicos, orgánicos e inorgánicos. La medida de la subrasante se hace por el número de metros cuadrados que se trabaje.

4.3.2. Capa de subbase

Está constituida por una capa de material previamente estudiado, de espesor determinado, de acuerdo con el diseño de la carretera, y colocada directamente sobre la subrasante; en casos especiales, hay terracerías que se pueden utilizar como subbases. Una subbase es la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad, el efecto de las cargas del tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de subrasante las pueda soportar.

Dentro de los tipos de sub-bases que existen, se enumeran los siguientes:

- Granular
- De grava o piedra trituradas
- De recuperación del pavimento existente
- Estabilizada

El procedimiento de trabajo de una subbase consiste en la obtención de los materiales a utilizar ya sea por explotación de bancos, mezcla de materiales existentes o compra de los mismos; además, incluye el transporte al área de trabajo de las cantidades de material, contemplando el porcentaje de contracción. Según sea el tamaño del proyecto, se considera la implementación de las estructuras y equipo necesario; por ejemplo, el montaje de una trituradora, el uso de excavadoras y tractores para la obtención del material, una cantidad de camiones para el transporte al área de trabajo.

Cuando el material ya está colocado en el área de trabajo se procede al tendido por medio de la motoniveladora hasta el nivel de los trompos, colocados previamente por la topografía, ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical y secciones típicas de terracería, a este paso se le conoce como ajuste de material; luego se humedece por medio de la regadora y se mezcla con la motoniveladora, las veces necesarias hasta ver uniforme el material, se chequea por el laboratorista la humedad de campo, luego se procede a conformar y afinar, comprobando con la topografía las tolerancias de aceptación, para que entre el rodo a compactar hasta alcanzar la densidad óptima deseada.

Por último, se chequean densidades de campo. Al finalizar, se debe cubrir con material de base para evitar que la subbase pierda sus características.

Luego de describir el procedimiento de trabajo se percibe que es un trabajo repetitivo que se podría estandarizar pero que conlleva mucho cuidado; por ejemplo el número de vueltas que la motoniveladora le da al material, depende de la uniformidad de los materiales; según las condiciones climáticas en un día soleado se necesita más agua que en un día nublado, el número de pasadas dadas por el rodo para compactar depende de la capacidad o tonelaje que tenga, según el volumen del material a trabajar o el tiempo que se disponga, se podría tener dos motoniveladoras, dos regadoras, etc. Así, se podrían numerar otras condiciones que pueden suceder, pero dependen de cada tipo de proyecto.

4.3.3. Capa de base

Está constituida por una capa de material seleccionado, de granulometría y espesor determinado que se constituye sobre la subbase. Hay una gran variedad de bases que varían de acuerdo con el tipo de pavimento y a los criterios del ingeniero diseñador. Dentro de los distintos tipos de capas de bases que existen, se describen las siguientes:

- Granular
- De grava o piedras trituradas
- De recuperación del pavimento existente
- Estabilizada
- De suelo cemento
- Negra
- Recuperación y estabilización del pavimento existente

Dentro de las principales funciones y características que cumplen, se enumeran las siguientes:

- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de las carpetas de rodadura.
- Servir de material de transición entre la sub-base y la carpeta de rodadura.
- Drenar el agua que se filtre a través de las carpetas y hombros hacia las cunetas.
- Ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- Alcanzar mayor capacidad de soporte que las subbases.

El procedimiento constructivo es igual al de una subbase, lo que varían son los requisitos y especificaciones de los materiales y que los márgenes de tolerancia y aceptación son más estrictos. Al igual que la subbase, la medida es por el número de metros cuadrados trabajados y aceptados a entera satisfacción.

4.4. Estructuras de drenaje

Las obras de drenaje juegan un papel muy importante en la construcción de las carreteras, pues su función principal es eliminar en el menor tiempo posible las aguas que por una u otra forma fluyen en las vías ya sean superficiales o subterráneas, creando de esta forma la protección para la erosión de taludes, pasos de agua y la estructura del pavimento.

El término “drenaje” en carreteras, es muy amplio e incluye las diferentes formas de realizar esta labor, dentro de las cuales se mencionan: las alcantarillas de tubos de concreto reforzado, alcantarillas de metal corrugado, alcantarillas de material plástico, subdrenajes, drenajes horizontales, incluyendo los dispositivos para protección de las alcantarillas como las cajas y cabezales, cunetas revestidas, bordillos y capa filtrante; por último, se debe contemplar la forma de proceder para la limpieza, reacondicionamiento, reutilización o remoción de estructuras de drenaje existentes.

4.4.1. Alcantarillas

Las tuberías o alcantarillas son los conductos que se construyen por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas, provenientes de las cunetas o

cuencas definidas, las cuales pueden ser permanentes, como los riachuelos, o variables como las aguas de lluvia. Dentro de los tipos más conocidos se enumeran las siguientes:

- Alcantarillas de tubos de concreto reforzado
- Alcantarillas de metal corrugado
- Alcantarillas de material plástico

Los trabajos relacionados con la construcción de alcantarillas, consisten en el suministro, acarreo, almacenaje, manejo y colocación de la tubería de los diámetros y materiales requeridos en los planos. Según las especificaciones, los trabajos de excavación y relleno se pagan como renglón de excavación estructural; y si el material de relleno debe reemplazarse, se pagará dentro del renglón de relleno para estructuras.

Para la construcción de tuberías se necesita definir el diámetro de la misma, por algún método confiable, racional, de comparación u otro; tomar en cuenta la alineación de la misma respecto de las aguas que drenará, para que su desfogue sea rápido; la pendiente debe ser adecuada para que no se estanque el agua sobre ella y no debe ser demasiada grande para evitar erosión.

Figura 18. **Colocación de alcantarilla de metal**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia El Progreso.

La compactación del material de relleno, debe hacerse en capas más o menos uniformes, debidamente homogenizados; la altura mínima de relleno debe ser 0.60 metros.

El personal encargado de la colocación debe nivelar y afirmar el terreno de cimentación. Dentro de la maquinaria a utilizar está una retroexcavadora para zanjeo y si fuese necesaria la obtención de material para relleno se necesitará un camión de volteo para transporte, además de una vibrocompactadora manual, bailarina u otro. La medida se hace por el número de metros lineales colocados entre rostros exteriores de los extremos de la alcantarilla, o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la alcantarilla.

4.4.2. Subdrenajes

Un subdrenaje es un sistema de drenaje para aguas subterráneas que puedan afectar a la carretera, buscando la forma de desalojarlas adecuadamente. Existen distintos tipos de subdrenaje:

- De tubería perforada, con o sin geotextil
- Geocompuestos para subdrenajes
- De drenaje francés

La construcción de un subdrenaje consiste en la excavación de la zanja, nivelación, colocación o no de geotextil, relleno con material filtrante, colocación o no de la tubería perforada y relleno de material impermeable.

Cada actividad que compone el subdrenaje se mide por separado, a menos que se conozcan las dimensiones y se presente una integración global del trabajo que se va a ejecutar. Por lo tanto, las medidas se hacen de la siguiente forma: la tubería perforada, en metro lineal; el material granular para filtro, en m^3 ; drenaje francés, en m^3 ; geotextil, en m^2 ; geocompuesto en m^2 . Para los trabajos de excavación no se debe hacer ninguna medida porque están a cargo del renglón de excavación estructural.

4.4.3. Cajas y cabezales para alcantarillas

Las cajas son las obras de drenaje, construidas de forma rectangular o cuadrada, cuya función es encauzar las aguas provenientes de las cunetas y se colocan en la entrada de las tuberías; mientras que los cabezales son muros de protección para la carretera que se construyen en la salida o en la entrada de la alcantarilla. Los materiales empleados para su construcción pueden ser de

concreto ciclópeos, concretos de 2500 psi, mampostería de piedra o mampostería de ladrillo o bloque.

Figura 19. **Construcción de muro**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Puerto Barrios.

4.4.4. Cunetas revestidas

La eliminación del agua que cae sobre la superficie de rodamiento y hombros, se realiza a través de las cunetas, transportándola a lugares fuera del área de la carretera o a las cajas receptoras. La forma y tamaño de las cunetas es muy variable y debe diseñarse, según sea la cantidad de agua a desfogar.

Las contracunetas son simplemente cunetas construidas, generalmente, en los taludes de corte, cuya finalidad es evitar que las aguas superficiales

lleguen hasta la carretera. Las especificaciones relativas a las cunetas son aplicables a las contracunetas.

La construcción de cunetas contempla la preparación del terreno, zanqueo y compactación si fuese necesario. La medición de este renglón se hace por la cantidad de metros cuadrados. Los materiales empleados para las cunetas pueden ser: piedra ligada con mortero, concreto simple fundido en sitio, concreto simple prefundido o mezclas asfálticas.

Figura 20. **Construcción de cunetas**



Fuente: fotografía tomada en ruta hacia Puerto Barrios.

4.4.5. Bordillos

Son las estructuras de concreto simples, que se construyen en el centro o en uno o en ambos lados de una carretera para el encauzamiento de las aguas, sobre todo, en las secciones de relleno; así como para el ordenamiento del tráfico y seguridad del usuario. Existen diversas formas y tamaños de bordillos, los cuales están indicados en los planos.

La construcción del bordillo incluye los trabajos de formaleta, excavación si la hay, la elaboración y curado del concreto. La medida de los bordillos se hace por la cantidad de metros lineales construidos.

4.5. Aspectos ambientales

Debido a que la construcción de un proyecto de carreteras conlleva cierto deterioro al medio ambiente, se debe hacer previo a su inicio, un estudio de evaluación de impacto ambiental que contenga las medidas de mitigación, para todas aquellas actividades que puedan causar un deterioro al ambiente, a los recursos naturales y culturales, antes de la ejecución de una obra. También se deben cumplir todas las leyes en materia de medio ambiente, como lo establece la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

Dentro de las disposiciones que se deben tomar en cuenta, están las siguientes:

- Control de la erosión
- Colocación de capa vegetal
- Siembra de césped
- Siembra de plantas, árboles, arbustos y enredaderas

- Césped en guías, tepes en puntos específicos
- Vástagos de grama
- Esteras para el control de la erosión, tejido de primera torsión y sistemas celulares de confinamiento.

5. CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS

El éxito de una empresa se alcanza cuando sus productos tienen un precio de venta que genere las ganancias aceptables que cubran los costos de producción y mantengan un rubro administrativo, el cual brinda competitividad en el mercado. Comparándolo con el presente tema, las constructoras deben conocer acerca de los costos de ejecución de cada actividad en el proyecto. De tal forma, el cálculo de precios unitarios es imprescindible para integrar el precio total de un proyecto, para presentar ofertas en cotizaciones y tener la oportunidad de ejecutar proyectos. Es importante mencionar que el éxito de una empresa depende en gran parte de esta integración.

Para integrar un precio es necesario incluir los gastos de la maquinaria, equipo y herramienta, el personal de campo y administrativo, los materiales de construcción, los gastos de oficina, impuestos, fianzas y el porcentaje de utilidad que se pretende obtener, incluyendo cualquier imprevisto.

El cálculo de un precio debe hacerse con entera seriedad y conocimiento de los trabajos y calidad que contempla su ejecución, previendo todos los inconvenientes que puedan surgir. Por ejemplo, no se puede suponer que la maquinaria que va a utilizarse es nueva y que los rendimientos son altos, cuando no se tienen esos recursos; ya que el tiempo programado sería más corto y esto redundaría en que el personal y equipo no logren los resultados. Otro caso sería que se necesite producir un concreto clase 3000 psi, y que no se incluya la cantidad correcta de cemento por metro cúbico; esto reduciría la calidad del concreto.

Tampoco, se podría esperar que los días efectivos de trabajo en temporada lluviosa, sean igual que en época de verano.

5.1. Variables de cálculo de precios unitarios

Las variables de cálculo de precios unitarios corresponden a la dificultad de ejecutar una actividad en ciertas condiciones, y contemplar los recursos necesarios para llevarla a cabo. No es lo mismo, ejecutar un proyecto en el departamento de Petén que en la ciudad de Guatemala; para quienes consideren la posibilidad de trabajar en una región alejada, deberán tomar en cuenta que las condiciones variarán, empezando por las facilidades de abastecimiento de insumos, la distancia de los fletes, etc.

Además, se deberá estudiar la región para el conocimiento del tipo de terreno en que se ejecutará el proyecto y verificar si es montañoso, plano, ondulado, arenoso, limo o arcilloso; luego, tomar en cuenta la ubicación de los bancos de material y su distancia al proyecto.

Otro aspecto importante, es la temporada de invierno, debido a que en ella el avance será lento y algunas actividades quedarán paralizadas.

Dentro de las variables más importantes para cálculo de precios unitarios, se toman en cuenta las siguientes:

- Descripción del proyecto
- Ubicación geográfica
- Descripción de cada actividad
- Especificaciones de construcción

- Duración de ejecución del proyecto
- Rendimiento de la maquinaria y equipo que se va a utilizar, selección del tipo y cantidad
- Precios de alquiler de maquinaria y equipo, o depreciación si es propia
- Cantidad, clasificación y rendimiento de personal
- Precios de mano de obra
- Lista actualizada de precios de los materiales
- Valor de impuestos, licencias de construcción, contratos y fianzas

5.1.1. Visita de campo

Se recomienda que antes de efectuar una oferta y calcular los precios unitarios, se lleve a cabo una visita de campo, para recopilar la mayor cantidad de información que sea posible y ayude a su integración. Dentro de las actividades recomendadas al momento de efectuar una visita de campo de un proyecto próximo a cotizar, están las siguientes:

- Ubicación exacta del proyecto
- Hacerse de una idea general del proyecto
- Hacerse de una idea general del grado de dificultad del proyecto
- Nombre, teléfonos, fax y correo electrónico de la institución a cotizar
- Verificar la existencia de planos de construcción
- Ubicación de venta de insumos, materiales, combustible, etc. Investigar precios
- Verificar si existe mano de obra calificada y no calificada en el lugar
- Abastecimiento de agua para la ejecución del proyecto
- Terrenos disponibles para parqueo de maquinaria, bodega, guardianía, oficinas

- Verificar existencia de empresas de alquiler de maquinaria y equipo
- Ubicación de bancos de materiales, piedra para muros
- Ubicación de hospedajes y comedores
- Verificar si hay sistemas de comunicación en el lugar
- Ubicar botaderos de material de desperdicio
- Verificar frecuencia de paso de vehículos livianos y pesados
- Ubicación de ríos y quebradas para probables desfogues, probables inundaciones, localización de las aguas superficiales aledañas al proyecto
- Cualquier otra información que se considere necesaria y útil para la cotización

5.2. Rendimientos de la maquinaria

El dominio de este tema es indispensable para el cálculo de precios unitarios, ya que el conocimiento de los rendimientos de la maquinaria puede tornarse muy complejo dependiendo del punto de vista del encargado de cálculo, o, tan fácil y práctico dependiendo de la experiencia que este tenga. Algunas empresas ya tienen definidas sus tablas de rendimientos para distintos tipos de condiciones; asimismo, existen los manuales de rendimiento propios de la maquinaria. Pero en cualquiera de los casos, se debe ajustar lo mejor posible a la realidad del proyecto que se va a ejecutar.

Para el cálculo de precios unitarios es importante, tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando se dan rendimientos de actividades, es necesario aclarar que estos deben tomarse como parámetros, y nunca como normas. Por lo que, debe tenerse especial cuidado con este tema.

- Rendimiento se entiende como producción, por lo que, los rendimientos son estimaciones de cuánto puede producir un grupo de máquinas y personas realizando cierta actividad, pero no es un estándar.
- La experiencia de los operadores es una variante que puede afectar el rendimiento de la maquinaria.

5.3. Cuadro de cantidades de trabajo

Muestra el resumen de las cantidades de trabajo que forman parte del proyecto, y sirve para determinar el precio total del mismo. La importancia de estas cantidades es muy alta, ya que son el resultado de un largo proceso de cálculo y diseño, obtenido a partir de los planos de diseño, las libretas topográficas y las memorias de cálculo.

Tabla III. Rendimiento de actividades

RENGLÓN	ACTIVIDAD	UNIDAD	RENDIMIENTO / DÍA
105.06	Planos finales de obra construida	Hojas	2
202.03	Limpia chapeo y destronque	Ha.	0.35
203.03 (b)	Excavación no clasificada de desperdicio	m ³	720
203.04 (g)	Excavación no clasificada en roca	m ³	250
208	Acarreo	m ³ /km.	2400
607.01	Cajas y cabezales para alcantarillas	m ³	6
565.01	Mampostería	m ³	7.5
555.01	Concreto ciclópeo para muros	m ³	7.5
253.01	Gaviones	m ³	12
608.01	Cunetas revestidas de concreto	m ²	96
609.01	Bordillos	ml	75
S/N	Rotulo identificativo del proyecto	Unidad	
S/N	Dispositivos de seguridad	Global	
S/N	Trabajos de administración	Global	

Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Ventajas de la contratación por la modalidad de precios unitarios

Los proyectos de carreteras por lo regular se trabajan por esta modalidad. Dentro de las ventajas que tiene, la contratación por la modalidad de precios unitarios, se describirán las siguientes:

- Los pagos son periódicos y según el avance físico, la cuantificación se hace por la unidad de medida de la actividad, y el valor según su precio unitario.
- Cuando se trata de proyectos grandes puede surgir alguna variación en más o en menos de las cantidades de trabajo y por consiguiente se refleja en el precio inicial. Esto se trata, por órdenes de trabajo suplementario, órdenes de cambio, o por decrementos. Estos son fáciles de administrar, ya que, sólo representan un aumento en el porcentaje del valor del contrato en cada actividad.

5.4. Cuadro de precios unitarios

Es la presentación gráfica del proceso de integración de las variables que intervienen en el costo de una actividad, básicamente, consiste en la sumatoria de los costos de producción, gastos indirectos, impuestos y la utilidad.

Existe diversidad de formas para hacer esta integración, pero cualquiera que se utilice, debe incluir todos los gastos que conlleva implícitamente la ejecución de cada actividad; por lo tanto, se deben alcanzar los mismos resultados. El procedimiento a seguir, se explica brevemente así: cuando se

calcula el precio de la maquinaria este debe incluir los gastos de combustible, lubricantes, servicios, depreciación, repuestos, operador, etc. Se debe considerar, si el transporte se pagará por separado o se integrará en el presupuesto; para lo cual se debe conocer la distancia. Una forma muy común de hacer esta integración es por el costo por hora.

También se debe calcular la mano de obra necesaria, la cual debe incluir el sueldo, prestaciones, bonificaciones e incentivos. El cálculo envuelve el uso de equipo y herramientas. Por otra parte, está la cuantificación de los materiales que debe prever la calidad y requisitos solicitados, los porcentajes de contracción e hinchamiento, desperdicios, etc. Además, se deben sumar los gastos por las licencias, los impuestos, fianzas, etc. Por lo regular, se hace en porcentajes. Por último, se tiene que agregar el porcentaje de ganancia que se estime necesaria, para cubrir los gastos administrativos y de oficina.

Los formatos para presentar dicha integración, por lo regular, se brindan por la institución licitante, o pueden quedar a criterio del licitante. Estos consisten en una hoja de cálculo, en donde se puedan procesar los datos.

Tabla IV. **Cantidades de trabajo**

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN A LICITAR
PROYECTO:

RUTA	DEPARTAMENTO	TRAMOS	LONGITUD TOTAL
LONGITUD TOTAL:			KM.

RENGLÓN	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
105.06	Planos finales de obra construida	Hojas			
202.03	Limpia chapeo y destronque	Ha.			
203.03 (b)	Excavación no clasificada de desperdicio	m ³			
203.04 (g)	Excavación no clasificada en roca	m ³			
208	Acarreo	m ³ /km.			
607.01	Cajas y cabezales para alcantarillas	m ³			
565.01	Mampostería	m ³			
555.01	Concreto ciclópeo para muros	m ³			
253.01	Gaviones	m ³			
608.01	Cunetas revestidas de concreto	m ²			
609.01	Bordillos	ml			
S/N	Rotulo identificativo del proyecto	Unidad			
S/N	Dispositivos de seguridad	Global			
S/N	Trabajos de administración	Global			
TOTAL GENERAL:					Q

Fuente: elaboración propia.

5.4.1. Metodología para el cálculo de precios unitarios

Debido a la facilidad que representa el manejo de este cuadro, por lo regular, se utiliza una hoja de cálculo electrónica. En la tabla V se presenta un modelo del cuadro que incluye los precios unitarios; estos deben llevar la siguiente secuencia:

- El nombre de la actividad debe estar acorde con lo establecido en la lista de cantidades e identificados con su respectivo código, si lo tiene;
- Debe describirse el rendimiento que se tiene previsto para cada actividad, con su respectiva unidad de medida;
- Colocar la fecha de elaboración de la oferta, para que se considere la vigencia de la misma;
- La cantidad a ejecutar debe tomarse del cuadro de cantidades de trabajo, presentada por la institución licitante;
- La duración de actividades es la primera operación que se realiza y resulta de la división de la cantidad a ejecutar y el rendimiento de la actividad. Es importante, mencionar que se debe hacer aproximación en los resultados, a la cantidad de decimales que se considere prudente, por ejemplo, los días deben ser números enteros, las cifras en quetzales deben ser aproximadas a dos decimales, etc;

- Calcular el costo de la maquinaria y equipo, lo cual resulta de la suma de las multiplicaciones entre la cantidad de horas de cada máquina y el valor por hora respectivo en quetzales; por lo regular, este valor incluye: operador, combustible, lubricantes, depreciación, etc. El criterio para conocer la cantidad de horas, se basa en la duración que tienen las actividades en días y se multiplica por el número de horas necesarias por máquina en un día; es importante resaltar que no toda la maquinaria trabaja las 8 horas, a menos que sea la máquina principal; por ejemplo, en la conformación del suelo, la motoniveladora es la máquina más importante, mientras que el rodo compactador y la regadora son complementarias y trabajan por menos horas;
- Al igual que el costo de la maquinaria, se procede a calcular el costo de la mano de obra, teniendo cuidado de integrar todo el personal que interviene en la ejecución, empleando los precios por hora ajustados al sueldo base del mercado y con la cantidad de horas que cada uno interviene, incluyendo un porcentaje de prestaciones de 29.16%; este resulta del porcentaje que representa el sueldo base, con relación a la suma del aguinaldo, bono 14, indemnización y vacaciones, a las que por ley tiene derecho un trabajador que trabaja por contrato; además, un 12.67% para pago de IGSS, INTECAP e IRTRA por parte del patrono y un 20% de viáticos aplicado al personal que no es de la región;
- Se calcula un porcentaje para la compra de herramientas; comúnmente es un 5% del total del costo de mano de obra, que es un dato promedio muy utilizado y real;

- Los costos, sin IVA, de los materiales que se van a utilizar en cada renglón o actividad deben calcularse detalladamente, incluyendo el volumen de desperdicio debido al porcentaje de contracción, prever si el agua va a ser comprada, los fletes para transporte de maquinaria, la formaleta, la madera, aditivos, desencofrantes, la tubería y el cemento;
- El total del costo directo, es el resultado de la sumatoria de los costos calculados del inciso 6 al 9;
- El total del costo indirecto, es la sumatoria de los porcentajes que en relación al costo directo, representan los gastos de: imprevistos (5%) fianzas (1.21%) seguros (0.28%) firma del contrato (0.75%) gastos administrativos (8%) y la utilidad (15%). Los anteriores porcentajes no deben utilizarse como estándares, ya que son únicamente parámetros, que dependen de los términos del contrato, según la institución a quien se presente la oferta, y los gastos administrativos y la utilidad que cada empresa maneja;
- El total parcial de los costos lo integra la suma de los dos incisos anteriores; el mismo sirve de base para calcular los impuestos a los que están afectas las empresas constructoras;
- El total de los impuestos que debe solventar una empresa son: el impuesto al valor agregado IVA (12%) y el impuesto sobre la renta ISR (5%). En este inciso al igual que los anteriores, se recomienda asesorarse con un profesional en la materia, actualizando los posibles cambios que puedan surgir;

- El precio total de cada actividad se obtiene de la suma de los dos incisos anteriores;
- Por último, el precio unitario (P.U.) de cada renglón se obtiene de la división entre el precio total (inciso 14) y la cantidad a ejecutar (inciso 4).

Tabla V. Integración de precios unitarios

	Actividad: Inciso 1		
Rendimiento:	Inciso 2	Unidad	
Fecha:	Inciso 3		
Cantidad a ejecutar:	Inciso 4	Unidad	
Duración de la actividad:	Inciso 5	Días	
MAQUINARIA Y EQUIPO			
Cantidad horas	Descripción	Costo hora	Subtotal
Inciso 6	TOTAL MAQUINARIA EQUIPO		Q
MANO DE OBRA			
Cantidad	Descripción	Costo hora	Subtotal
		Subtotal	Q.
		Prestaciones 29.16%	Q.
		IGSS, IRTRA E INTECAP 12.67%	Q.
		Viáticos 20%	Q.
Inciso 7		TOTAL MANO DE OBRA	Q.
Inciso 8		Herramientas 5% m.o:	Q.
MATERIALES Y OTROS GASTOS:			
Cantidad	Descripción	Costo hora	Subtotal
Inciso 9		TOTAL MAQUINARIA EQUIPO	Q
Inciso 10		TOTAL COSTO DIRECTO:	Q
COSTOS INDIRECTOS:			
		Imprevistos 5%	Q
		Fianzas 1.21%	Q
		Seguros 0.28%	Q
		Contrato 0.75%	Q
		Gastos administrativos 8%	Q
		Utilidad 15%	Q
Inciso 11		Total costos indirectos:	Q
Inciso 12		Total parcial:	Q
IMPUESTOS			
		IVA 12%	Q
		ISR 5%	Q
Inciso 13		TOTAL IMPUESTOS	Q.
Inciso 14		PRECIOS TOTAL:	Q
Inciso 15		PRECIO UNITARIO DE LA ACTIVIDAD:	Q /Unidad

Fuente: elaboración propia

5.5. Cronograma de actividades

El cronograma de actividades es la representación de las mismas en el tiempo, también es conocido como programa de trabajo. Por lo regular, el programa de trabajo lo propone el contratista para su aprobación, por parte del supervisor o por el ente contratante.

La duración de las actividades resulta de la división entre la cantidad a ejecutar y el rendimiento de la actividad. Para realizar la programación se debe tomar en cuenta el tiempo de descanso, los días de asueto, los posibles atrasos, la época lluviosa, y cualquier otro inconveniente que pueda surgir para alcanzar el rendimiento establecido. Además, si existe un plazo contractual estipulado, se debe velar por el cumplimiento de las actividades para evitar sanciones. A veces, es necesario acelerar los trabajos poniendo a trabajar más maquinaria y personal, para cumplir con la fecha de entrega. Dentro de las funciones principales están:

- Constatar el avance de las actividades
- Proyectar los recursos que se emplearán
- Mezclar valores económicos con las actividades, para ver el avance financiero

Este se puede hacer por medio de diagramas de barras u otro método, donde sea fácilmente identificada la actividad que corresponda ejecutar en el tiempo planeado.

Tabla VI. **Cronograma de actividades**

Entidad contratante _____

Nombre de la empresa _____

Nombre del proyecto:

Longitud: km.

No.	Renglon	Unidad	Cant.	P. Uni.	Monto Total	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
105.06	Planos finales		11	Q50,00	Q550,00	■					
	de obra construida	Hojas									
202.03	Limpia		1	Q100,00	Q100,00						
	chapeo y destronque	Ha.									
203.03 (b)	Excavación		311	Q65,00	Q215,00	■					
	no clasificada de desperdicio	m ³									
203.04 (g)	Excavación		194	Q90,00	Q460,00		■				
	no clasificada en roca	m ³									
208	Acarreo		500	Q1 600	Q800,00		■				
		m ³ /km.									
607.01	Cajas y cabezales		600	Q150,00	Q900,00			■			
	para alcantarillas	m ³									
565.01	Mampostería		250	Q150,00	Q300,00			■	■		
		m ³									
555.01	Concreto ciclópeo		250	Q200,00	Q500,00			■	■		
	para muros	m ³									

Continuación tabla VI

253.01	Gaviones	m ³	600	Q145,00	Q800,00				5	5	
									Q725,00	Q725,00	
608.01	Cunetas revestidas de concreto	m ²	500	Q150,00	Q700,00					5	
									Q750,00		
609.01	Bordillos	ml	400	Q150,00	Q600,00					5	
									Q750,00		
S/N	Rotulo identificativo del proyecto	Unidad	1	Q700,00	Q400,00						5
											Q3000,00
S/N	Dispositivos de seguridad	Global	50	Q500,00	Q200,00						5
											Q200,00
S/N	Trabajos de administración	Global	1	Q100,00	Q100,00						5
											Q500,00
				TOTAL POR PERIODO	Q123,24	Q575,00	Q175,00	Q500,00	Q475,00	Q225,00	Q4 500,00
				TOTAL ACUMU LADO	Q575,00	Q150,00	Q450,00	Q625,00	Q405,00		1 203,24
				% POR PERIODO	5	10	10	15	35		25
				% ACUMU LADO	5	15	25	40	75		100

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El conocimiento de las características de la maquinaria y el rendimiento y los trabajos que puede realizar cada una, son imprescindibles para el cálculo de cantidades de trabajo y precios unitarios. Además, permite relacionar en qué actividad del proceso constructivo se utilizan, para optimizar su rendimiento
2. Debido a que los proyectos viales conllevan grandes beneficios sociales y desarrollo a las poblaciones, estos se deben de ejecutar con la mejor calidad posible, cumpliendo las pruebas de laboratorio y especificaciones contractuales.
3. El cálculo de los costos de un proyecto vial, radica en determinar las cantidades de trabajo y precios unitarios que lo componen; para esto se debe cumplir con las normas y características geométricas que den seguridad al conducir por dicho proyecto.
4. En la ejecución de proyectos, la experiencia del personal de topografía, operadores de maquinaria y personal de trabajo, son factores muy importantes, debido a que habrá que tomar decisiones para solucionar situaciones que surjan en campo, en el menor tiempo posible; estas deben contar con la supervisión y aprobación del ingeniero delegado residente.

RECOMENDACIONES

1. La visita de campo es un paso que no se debe obviar cuando se desee participar en la presentación de ofertas de un proyecto dado.
2. Debido a que la maquinaria sigue un proceso de innovación, los contratistas deben mantenerse informados respecto de los avances y modelos más recientes del mercado.
3. Se deben actualizar constantemente los precios de la maquinaria, mano de obra y materiales, ya que pueden surgir variaciones, según las fechas y lugares en que se presenten las ofertas. Una fuente fidedigna de crédito es el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Cámara Guatemalteca de la Construcción.
4. La elaboración de ofertas debe hacerse cumpliendo estrictamente con lo estipulado en las bases y se debe tomar en cuenta la ubicación donde se llevará a cabo el proyecto. Este es un factor importante y significativo para determinar el precio de los materiales puestos en obra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Reglamento sobre el derecho de vía de los caminos públicos y su relación con los predios que atraviesan*. Guatemala: M.C.I.V., 1942. 16 p.
2. Guatemala, Congreso de la República. *Ley de Contrataciones del Estado. Decreto Número 57-92*. Guatemala, 1992. 28 p.
3. ————. *Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado. Decreto Número 1056*, Guatemala, 1992 25 p.
4. GUERRERO ESPÍNOLA de LÓPEZ, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 116 p.
5. Instituto Nacional de Estadística. *Proyección de población 2011*. [en línea] <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/index.htm> [Consulta: septiembre 2011].

6. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: 2001. 456 p.
7. ————. *Especificaciones técnicas para la construcción de caminos rurales en Guatemala Caminos ambientalmente compatibles*. Guatemala, 2002. 89 p.
8. PÉREZ, Augusto René. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1989. 122 p.