



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA  
DEPARTAMENTO DE MINAS.

*Tesis en opción al título de Master en Minería.*

**TÍTULO:** Procedimiento para el diseño geométrico de caminos  
mineros con el software AutoCAD Civil 3D.

**AUTOR:** Idermis Téllez Rodríguez.

**TUTOR:** Dr. C. Orlando Belete Fuentes.

Moa, 2012  
Año 54 de la Revolución.



---

## Introducción

La revolución informática acaecida a partir de los años 60 ha introducido drásticos cambios en muchos aspectos de la sociedad. El desarrollo científico y tecnológico ha sido uno de los campos más afectados por la enorme capacidad de cálculo de los ordenadores, cada vez más accesibles a la población y, particularmente, a los investigadores. Las ingenierías no han sido una excepción y, aprovechando esta capacidad, se han visto sometidas a una serie de cambios que han permitido nuevas formas de trabajo diferentes a los tradicionales.

El tratamiento de los datos para el diseño de caminos es un caso en el que la evolución ha sido especialmente llamativa. En este sentido, las concepciones tradicionales, de lo que es el diseño de caminos y de las formas de trabajo que se apoyan en ella, se han visto profundamente transformadas; el tratamiento manual de la información minera para el diseño de caminos se han complementado con la integración de la misma en los softwares creados para el diseño de carreteras y caminos.

En este contexto la competitividad entre las empresas mineras que explotan recursos minerales a cielo abierto, ha exigido que éstas sean más eficientes en sus procesos y eficaces en sus resultados. Para obtener el mejor rendimiento posible, la política es ejecutar las cosas a fin de que los recursos se apliquen de la forma más racional posible, para lograr ser eficiente a corto y largo plazo. Razón por la que se requiere de una buena planificación de las acciones, que sirva para proyectar en base a las realidades objetivas y subjetivas de cada empresa.

Dentro de la minería a cielo abierto, están las operaciones de transporte de la masa minera, en la cual, los caminos mineros adquieren una gran importancia debido a que su función es resolver de forma efectiva el traslado de mineral de un punto a otro de la superficie terrestre, garantizando además, que el conductor realice su desplazamiento con la mayor seguridad posible, y al mismo tiempo una buena interacción con el medio donde está enclavado.



Por todas estas razones es que el diseño y construcción de caminos es una de las funciones más importantes que deben enfrentar los ingenieros de minas a la hora de explotar cualquier recurso mineral. El buen diseño y construcción de caminos promueve la seguridad, la producción y la disponibilidad del equipamiento, lo cual es equivalente a menores costos por concepto de roturas y mantenimiento. El ancho apropiado de los caminos, así como su peralte, superficie de rodamiento, control de las aguas superficiales con adecuados drenajes y alcantarillas, garantizan la seguridad de estos, e influyen positivamente en la productividad y eficiencia de las operaciones mineras.

Para diseñar caminos existen diferentes procedimientos, algunos muy antiguos que se realizaban manualmente con ayuda de unas tablas numéricas (funciones circulares o trigonométricas), con calculadoras mecánicas, y otros más modernos desarrollados a partir del surgimiento de las computadoras. El desarrollo tecnológico del mundo actual ha permitido al hombre desarrollar algoritmos de cálculos, que por su complejidad eran muy lentos para realizarlos manualmente. A raíz del gran avance científico técnico que ha alcanzado la rama de la informática, se han creado software capaces de diseñar viales con mayor rapidez y precisión, entre los que se destacan está el Software AutoCAD Civil 3D.

Actualmente en la Empresa de Proyectos del Níquel (Ceproniquel) se usan para estos fines, en el ámbito del diseño de caminos, el software Autocad Land Developmet Desktop y el Software Cartomap V 6.0, este último limitado a dos llaves muy costosas en el mercado internacional. El diseño con Autocad Land no realiza interacciones con otros viales existentes, no es interactivo ni dinámico, no alerta al ingeniero de la existencia de algún parámetro fuera de lugar, etc.

En la actualidad se manifiesta la problemática de que los estudios para el diseño de caminos mineros no se realiza de forma multidisciplinaria, ni se aplican con la rigurosidad necesaria durante los procesos de diseño y construcción. En ocasiones se comenten errores que no son visibles, hasta que no se construye el vial, trayendo como consecuencia daños y pérdidas irreparables en el orden tecnológico, económico y social.



A partir del año 2010 Ceproníquel adquirió un nuevo software (AutoCAD Civil 3D 2010) que no está limitado a dos computadoras, menos costoso en el mercado, además de realizar los diseños de caminos mineros con una mejor representación gráfica, con mayor rapidez, permite diseñar en dos y tres dimensiones al unísono, las actualizaciones que se realicen en una parte del trabajo se actualiza en el resto del mismo, como otras tantas opciones que posee.

La adquisición de este software de última generación presenta las limitaciones siguientes:

- 1- No se cuenta con un procedimiento integral para el diseño de caminos mineros.
- 2- No se aplica un análisis integrado para las interpretaciones de los resultados.
- 3- La capacitación de los diseñadores de la empresa es baja, producto a que no cuentan con un documento rector para el manejo del software.

**Problema:**

No existe un procedimiento integral para el diseño de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D 2010 en el Centro de Ingeniería y Proyecto del Níquel que permita integrar los conocimientos ingeniero – geológicos y las características del software AutoCAD Civil 3D 2010.

**Objeto de estudio:**

Software AutoCAD Civil 3D 2010.

**Campo de Acción:**

Este radica en las características del software AutoCAD Civil 3D 2010 para el diseño de caminos mineros.

**Objetivo general:**

Elaborar un procedimiento para el diseño de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D, que permita ser usado como herramienta de trabajo a los ingenieros de minas, topografía y civil.



### Hipótesis:

Si se integran los conocimientos ingeniero – geológicos y las características del software AutoCAD Civil 3D 2010, es posible elaborar un procedimiento para diseñar caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D y elevar la calidad de los diseños que se realizan en el Centro de Ingeniería y Proyecto del Níquel.

### Objetivos específicos:

1. Analizar los conceptos básicos y principales métodos que se utilizan en el diseño de caminos mineros, mediante el análisis de trabajos anteriores.
2. Caracterizar el software AutoCAD Civil 3D.
3. Elaborar un procedimiento para el diseño de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D.
4. Validar la factibilidad del procedimiento propuesto para el diseño de caminos mineros con el software autocad civil 3D a través de un caso de estudio.

### Métodos empleados en dar solución al problema científico de la investigación:

- **Histórico-lógico:** Se utilizó para la revisión y análisis de los documentos y definir los principales antecedentes.
- **Métodos empíricos:** será imprescindible el empleo de la **medición**. Como técnicas; **la observación científica** y **la entrevista**, para el conocimiento de las características fundamentales del objeto.
- **Métodos teóricos:** se usa para la interpretación conceptual de los datos empíricos; haciendo uso del **análisis y la síntesis** en el estudio de las partes del objeto y para comprender su comportamiento como un todo. Dentro de los métodos teóricos también se usó la **inducción y deducción** como procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo general a lo particular.
- **El método dialéctico** para conocer las relaciones entre los componentes del objeto.

### Tareas:

1. Explorar problemas sobre caminos mineros.
2. Recopilar y analizar los trabajos relacionados con el diseño de caminos mineros utilizando tecnología CAD.



3. Definir los principales aspectos del terreno que intervienen en el diseño de caminos mineros y su implementación a través del software.
4. Elaborar un procedimiento para el diseño de caminos mineros.
5. Evaluar los resultados de la aplicación del procedimiento a través de un caso de estudio.

### **Actualidad del tema:**

El diseño de caminos mineros con software de última generación y en especial con AutoCAD constituye una temática actual y de interés a nivel nacional, siendo una preocupación constante de especialista y proyectista el hecho de diseñar con mayor rigurosidad para obtener proyectos competitivos. Con AutoCAD Civil 3D se logra hacer correcciones oportunas, tanto técnicas como prácticas; aumentando la calidad de la obra a ejecutar (caminos mineros). Los métodos de cálculos son más precisos; el software avisa al diseñador donde hay un error técnico antes de que se continúe con el diseño, dando muestra de su utilidad para los trabajos de ingeniería.

### **Aporte científico:**

- La integración de los conocimientos ingeniero – geológico y las características del software AutoCAD Civil 3D 2010, la combinación de varias disciplinas (la topografía, la geología, la minería y civil) como un todo, además del ahorro y rapidez que implica realizar los diseños con este software y su ajuste a las normativas vigentes
- La elaboración de un procedimiento para el diseño de caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D 2010.



---

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.1 Generalidad sobre el diseño de caminos mineros.**

La historia de la humanidad es la historia de los caminos, estos han cumplido análogas funciones en relación con el desarrollo y las tecnologías. Las civilizaciones se sirven de los caminos, sin los cuales no se concibe su expansión. Rastro del paso del hombre fueron los primeros caminos; rastro de la historia son al fin y al cabo todos los caminos (Menéndez-Pidal).

El desarrollo de las minas a cielo abierto depende en gran medida, del progreso que alcancen las vías de acceso, sin las cuales la productividad de las mismas afectaría la eficiencia de las plantas metalúrgicas. Las vías de comunicación llegan a todos los rincones de la mina, permitiendo que ésta funcione lo más armónicamente posible.

Uno de los elementos fundamentales y determinantes a la hora de explotar un yacimiento a cielo abierto lo constituyen los caminos mineros, ya que de la calidad del diseño y construcción de los mismos dependen varios factores, entre los que se encuentran: tiempo de vida útil de los camiones mineros, gasto de combustible, aceite, pérdida de mineral, etc.

En el presente capítulo se realizará el análisis de temas relacionados con el objeto de estudio, lo cual permite detectar de forma preliminar las diferentes características y deficiencias que existen entre las investigaciones realizadas, además de introducir los conceptos necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación y las principales características del software AutoCAD Civil 3D.

Con el avance vertiginoso que ha tenido la rama de la informática en las últimas décadas, los diseños de caminos, no solo deberán limitarse a resolver de forma efectiva el traslado de mineral de un punto a otro de la superficie terrestre, sino que deberán hacerlo asegurando las máximas condiciones de seguridad y confort para los conductores, así como integrándose en el paisaje por el que discurre y del que formara parte, además de cumplir con todas las normas y principios de ingeniería que permita obtener una obra vial resistente, segura, duradera, funcional, económica y de apariencia agradable ante los ojos del conductor.



## 1.2. Antecedentes y tendencias actuales.

El ser humano necesita relacionarse con sus semejantes y con su entorno, para poder desempeñar correctamente sus funciones. En este sentido, la existencia de las rutas, sendas o caminos proporciona y facilita la creación de vínculos sociales y comerciales entre los distintos grupos humanos, bien sean individuos, tribus, pueblos, ciudades o naciones (Luís Bañón-José F. Beviá García, 2009).

Cabe así mismo señalar la influencia que los caminos han tenido en la historia, así como recíprocamente el efecto que la historia ha tenido en la concepción y construcción de caminos.

Desde la antigüedad, la construcción de vías de comunicación ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizaciones empezaron a aumentar de tamaño, al igual que la necesidad de la población; la comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otra localidad.

Como es ya conocido, los más grandes constructores de caminos del mundo antiguo fueron los romanos, que construyeron una red de vías de comunicación muy eficiente y sin igual hasta los tiempos actuales. Hasta finales del siglo IV a. C. las calzadas romanas eran poco más que senderos que conducían a Roma desde las distintas ciudades. Desde ese momento comenzaron a construirse sistemas más complejos de calzadas, con vista a hacerlas más permanentes y mejores para soportar diferentes tipos de tráfico.

A iniciativa de Appius Claudius Crassus se construyó la más famosa de las calzadas romanas, la Vía Appia; el aspecto más revolucionario de la vía Appia fue su pavimentación, realizada parcialmente con piedras y con lava solidificada.



**Figura: 1.1.** La Vía Apia, una de las más emblemáticas calzadas de Roma.

Generalmente las calzadas se construían en línea recta, tomando la ruta más recta donde fuera posible. Cuando las montañas no lo permitían, los ingenieros de esa época diseñaban y construían complicados sistemas de circunvalación. Los logros de los romanos en este campo son del todo meritorios.

Una razón de porqué las calzadas romanas eran tan duraderas es el esmero que pusieron en el diseño y ejecución de un sistema de drenaje adecuado, que básicamente consistía en la excavación de zanjas en los extremos del camino y paralelas al mismo.

Durante las tres primeras décadas del siglo XIX dos ingenieros británicos, Thomas Telford y John Loudon McAdam, así como un ingeniero de camino francés, Pierre-Marie-Jérôme Trésaguet, perfeccionaron los métodos y técnicas de construcción de caminos.

El ingeniero John Loudon McAdam se dedicó a estudiar métodos para mejorar las vías, consiguiendo construir caminos capaces de soportar tránsito rodado relativamente rápido. McAdam concebía la calzada como un colchón donde las cargas provocadas por el tráfico se repartían, y afirmaba que un terreno bien drenado soportaría cualquier carga. En su sistema de construcción de caminos, la capa de piedra machacada sin ningún tipo de aglomerante se colocaba directamente sobre un cimiento de tierra que se elevaba del terreno circundante para asegurar un correcto desagüe.



El método de Thomas Telford consistía en hacer los caminos más resistentes, capaces de soportar la máxima carga admisible; esto fue posible debido a que a diferencia de McAdam, Telford dedicó más tiempo al estudio de la cimentación. Su sistema implica la construcción de caminos sobre cimientos de material más resistente, de ser posible roca y no tierra como lo hacía McAdam.

La tecnología ha tenido un efecto importante en el diseño de caminos. Durante los pasados 20 años, el diseño de los viales se trasladó desde el tablero de dibujo hasta la computadora. Los sistemas CAD trajeron una revolución en la eficiencia de los procesos de diseño.

Un aporte considerable lo da en este campo Noyola (2005); que aborda la temática relacionada con la importación de puntos y la generación de superficies con AutoCAD Land, en esta publicación existe una amplia conceptualización de las leyes y principios relacionados con todo el análisis que se le da a las bases de datos para generar superficies, constituyendo esto, un pilar para la comprensión de la misma en sus más diversas formas; en este trabajo se exponen diferentes situaciones prácticas donde se vinculan los trabajos topográficos hechos con estaciones totales y el software AutoCAD Land.

Pedro Sebastiao en La Habana (2006) realizó un trabajo muy interesante, donde analizó programas de computación utilizados en Cuba para el diseño geométrico de viales. En los programas se examinó la obtención de los puntos topográficos, el MDT, la forma de trabajo, las principales herramientas para su utilización en los proyectos de ingeniería.

En un estudio realizado por Neus Ros en Valencia, España (2009); se subraya la importancia que tiene realizar trabajos de ingeniería con AutoCAD Civil 3D, las predicciones que este realiza a la hora de diseñar obras de fábrica, en el trabajo sobre la determinación de las diferentes rutas que sigue el agua en una superficie, aplicable a la hora de realizar un estudio del drenaje de una zona determinada.

En el manual de carreteras de Bañón en España (2009); se subraya la importancia que tienen todas las partes que componen un vial, las intersecciones, el tráfico, las calzadas, las cunetas, los paseos etc. En este libro se dan varios conceptos que ayudan a comprender



mucho más el diseño de caminos, además de dejar plasmado en el manual una serie de fórmulas matemáticas que nos sirven para calcular todos los parámetros de un camino.

Flórez Casillas (2000); en su artículo “Cálculo de obras de drenaje transversales de carreteras” da una serie de criterios relacionados con el diseño de obras de drenaje, cálculos de obras de drenajes transversales, y todo un proceso de cálculos y criterios sobre la protección contra la erosión. Los cuales fueron usados en esta investigación.

El colectivo de autores en su libro “Trazado de vías” (1975); abordan el trazado de vías a través de diferentes métodos, se tratan con amplitud las curvas horizontales y el replanteo de éstas, ensanches de curvas, peraltes, curvas compuestas y verticales, dedicándole también un capítulo al movimiento de tierra.

### **1.3 Conceptos básicos relacionados con el diseño de camino.**

En este epígrafe se definen los principales conceptos utilizados en este trabajo, con el fin de hacer viable la comprensión del diseño geométrico de caminos mineros, así como la de unificar la terminología utilizada a nivel nacional e internacional.

**Estación:** Son puntos situados sobre una alineación determinada y separados unos de otros equidistantes; se representan por números enteros y para conocer la distancia entre el inicio de la alineación y una estación determinada, sólo es necesario multiplicar el número de estación por la equidistancia (Trazado de vías, 1983).

**Rasante:** La rasante puede definirse como la elevación con respecto a una superficie de referencia definida de todos los puntos del eje de la vía. Es la línea base que define todos los alineamientos verticales del trazado y su elección depende de algunas condiciones, entre las que se destacan están: (Topografía del terreno, puntos obligados en la altura, visibilidad, velocidad de diseño, seguridad en la circulación vehicular, etc, (Trazado de vías, 1983).

**Calzada:** Zona del camino destinada a la circulación de vehículos, compuesta por uno o varios carriles (Trazado de vías, 1983).



**Plataformas:** Zona allanada del terreno, donde descansa la calzada, que se halla a su vez dentro de la explanación o porción de terreno que ocupa realmente el camino (calzada y arcenes), delimitada por las arista de la explanación (Ros, 2009).

**Arista de explanación:** La resultante de la intersección del terreno natural con el talud del desmonte o terraplén, en caso de no existir talud, es la intersección del terreno natural con el borde exterior de la cuneta (Ros, 2009).

**Carril:** Banda longitudinal en que puede subdividirse la calzada, caracterizada por tener una anchura suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos (Ros, 2009).

**Arcén:** Es la franja longitudinal afirmada contigua a la calzada, no destinada al uso de automóviles salvo en circunstancias excepcionales (Ros, 2009).

**Berma:** Zona longitudinal del camino, comprendida entre el borde exterior del arcén y la cuneta. Generalmente se utiliza para señalización, balizamiento o instalaciones de barrera de seguridad (Ros, 2009).

**Vías de circulación:** Cada una de las fajas elementales en que se considera dividida la calzada a efectos de capacidad de tráfico. También se le llama senda o carril de circulación (Blazquez, s.a).

**Paseo:** Parte de la vía que se encuentra a ambos extremos de la calzada; cuyo objetivo es servir de aparcamiento a los vehículos cuando sufren algún tipo de contratiempo, de forma tal que no obstruya el tránsito por la vía de circulación (Trazado de vías, 1983).

**Corona:** Es el ancho completo de la vía; incluyen las vías de circulación y los paseos (Trazado de vías, 1983).

**Taludes:** Son obras, normalmente de tierra, que se construyen a ambos lados de la vía; tanto en excavación como en terraplén, con una inclinación tal que garanticen la estabilidad de la obra (Trazado de vías, 1983).

**Zona de emplazamiento:** Comprende además de la vía, una franja de terreno a ambos lados de la misma. Su objetivo es tener suficiente terreno en caso de ampliación futura de la carretera, atenuar los peligros de accidentes motivados por obstáculos dentro de ella que dificulten la visibilidad del conductor y zona de transición entre la vía y el paisaje circundante (Trazado de vías, 1983).



**Cuneta:** Canales de sección generalmente trapezoidal adosados a ambos lados de la calzada, que recogen, canalizan y evacuan las aguas pluviales (Ros,2009).

**Pendiente:** Son tramos de calzadas de inclinación negativa en el sentido de la marcha, la cual favorece un aumento de la velocidad de circulación de los vehículos (Belete).

**Bombeo:** Diferencia de nivel entre el extremo de la calzada y su eje en tramo recto (Trazado de vías, 1983).

**Factor de bombeo:** Pendiente de la sección transversal de la vía en tramo recto (Trazado de vías, 1983).

**Sobre ancho:** Holgura con que se dota a una curva para facilitar el giro de los vehículos (Trazado de vías, 1983).

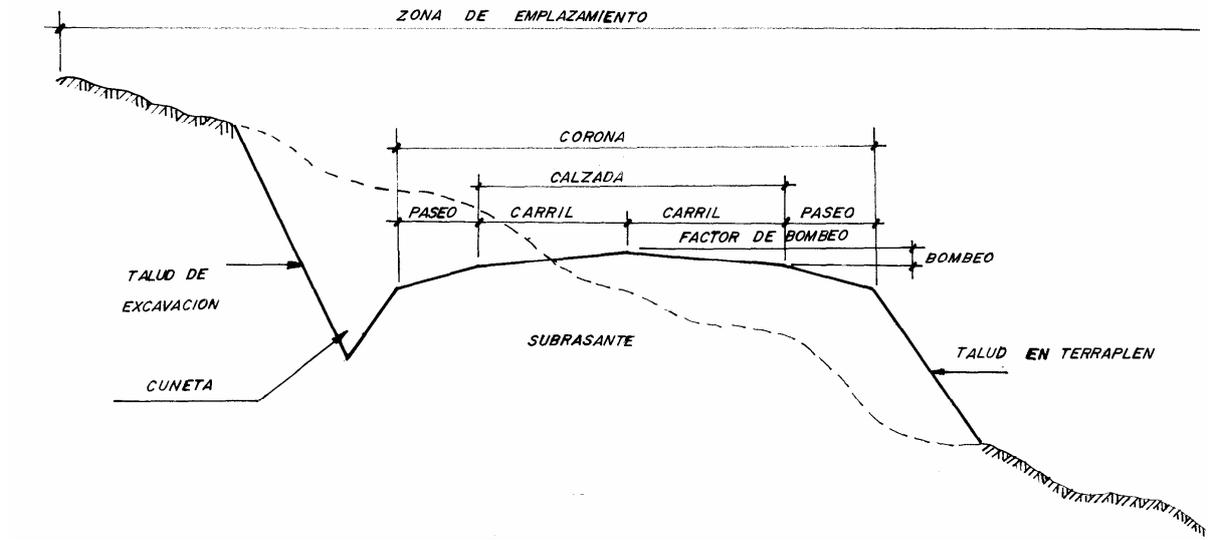
**Vista en planta:** Es la vista más importante de todas, ya que sobre ella se representa de forma explícita la proyección horizontal del camino. Se emplea para la confección de planos que recojan información de diversa índole, útil para la correcta definición de la vía (trazado, geología, replanteo, topografía, etc) (Blazquez, s.a).

**Plano:** Es la representación gráfica que por la escasa y extensión de superficie a que se refiere, no exige hacer uso de los sistemas cartográficos.

**Perfil longitudinal:** Es el desarrollo sobre un plano de la sección obtenida empleando como plano de corte una superficie cuya directriz es el eje longitudinal del camino, empleando una recta vertical como generatriz. En esta vista se sintetiza gran parte de la información necesaria para la construcción del camino, expresada tanto gráfica como numérica (Blazquez, s.a).

**Perfil transversal:** Se obtiene seccionando la vía mediante un plano perpendicular a la proyección horizontal de eje, en él se definen geoméricamente los diferentes elementos que conforman la sección transversal de la vía (taludes de desmonte y terraplén, cuneta, arcenes, peralte, etc) (Blazquez, s.a).

En la figura 1.2 se muestran algunos de los conceptos anteriormente enunciados.

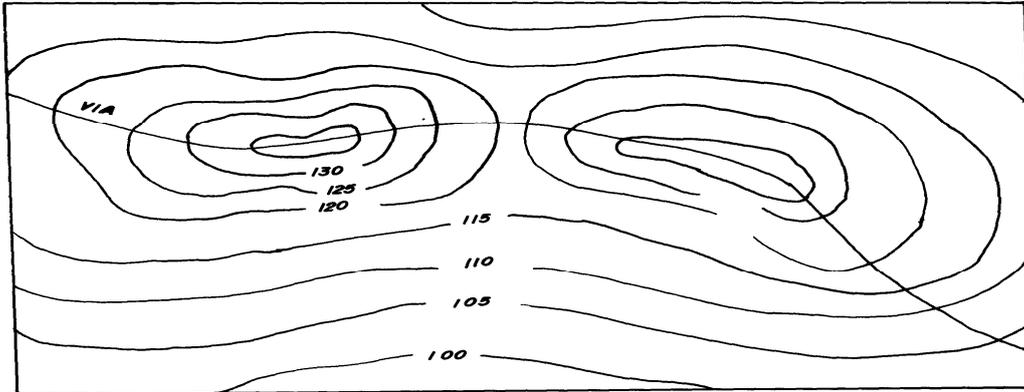
**FIGURA 1.2** Diseño geométrico de un camino minero.

### 1.3.2 Factores que influyen en el diseño geométrico de los caminos.

Geoméricamente, los caminos son cuerpos tridimensionales totalmente irregulares, lo que en un principio hace complicada su representación. Sin embargo, posee una serie de particularidades que simplifican y facilitan su estudio, siendo de vital importancia conocerla.

**Tráfico:** Conocer el tráfico que ha de soportar un camino es un dato fundamental para proyectarlo. Es necesario conocer el número total de camiones mineros y otros vehículos que circularan por el mismo, las características técnicas de los camiones, se deben tener en cuenta las regulaciones de circulación existentes, como limitaciones de velocidad o prohibiciones de adelantamiento, distribución en el tiempo y su factor de crecimiento anual, no solo para determinar la sección transversal más adecuada, sino también las pendientes longitudinales máximas admisibles, su longitud; entre otras cuestiones (Blazquez, s.a).

**Topografía:** En determinada actividad humana se precisa disponer de una representación del terreno con el mayor grado de detalle posible, y la topografía estudia los métodos necesarios para llegar a representar un terreno con todos accidentes naturales y antrópicos. Con el conocimiento de ésta es posible hacer de forma racional los movimientos de tierra (Blazquez, s.a).



**Figura .1.3** Representación topográfica de la traza de un camino minero.

**Visibilidad:** Todo los tramos de caminos deben ofrecerle al conductor una determinada visibilidad, que depende de la forma, dimensiones y disposición de los diferentes elementos de trazado que conforman la vía (Blazquez, s.a).

**Velocidad de proyecto:** Es aquella que permite definir las características geométricas mínimas de construcción de los elementos del trazado, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad (Blazquez, s.a).

**Estética:** Un trazado correcto no sólo debe ser cómodo y seguro, sino que además debe integrarse lo mejor posible en el medio físico circundante, debe existir una adecuada coordinación de trazado en planta y en alzado (Blazquez, s.a).

**Suelos:** Es un material natural que, a diferencia de la roca, presenta una marcada modificación de sus propiedades en presencia de agua

**Economía:** Puede afirmarse con absoluta certeza que el camino más corto entre dos puntos es la línea recta; ahora bien, lo que no es cierto es que sea el más económico (Blazquez, s.a). Sin duda alguna, el movimiento de tierra es la fase de construcción que más puede desequilibrar el costo de una vía. Para minimizar esto, es aconsejable ajustar en la medida de lo posible la rasante del camino al perfil natural del terreno. Lógicamente, esto no es siempre posible, ya que existen otras condicionantes y restricciones que en ocasiones impiden que esto se cumpla. La composición geológica del terreno que sobre el va a asentarse el camino puede llegar a condicionar en gran medida la idoneidad técnica y



económica de un trazado. Otro aspecto que pueden disparar los costos de construcción de un camino es la presencia de obras de fábrica, que en ocasiones es algo inevitable.

Aunque en la construcción suele prevalecer el criterio económico por encima de todos los factores, como son la comodidad o seguridad, es bueno recalcar que la economía es el factor principal, pero debe analizarse de forma integrada con otros que en un momento dado puede definir la viabilidad de la construcción.

### **1.3.3 Términos y definiciones utilizados por Software AutoCAD Civil 3D.**

**Alineaciones:** Son las que define a grosso modo el trazado del camino (eje). Estas pueden ser de tres tipos (rectas, curvas y de transición). La creación de la misma es uno de los primeros pasos del diseño de caminos (Ros, 2009).

**Explanación o subrasante:** Obra de tierra anterior al pavimento cuyo objetivo es elevar ó deprimir la estructura para alcanzar la cota de la subrasante de proyecto. Generalmente se construye con suelos del lugar objeto de la construcción propia de la vía; ó mediante suelos transportados desde una cantera de préstamo cercana a la obra (Ros, 2009).

**Ensamblaje:** Objeto de dibujo de AutoCAD Civil 3D que gestiona una colección de componentes de subensamblaje, tales como carriles de circulación, bordillos, arcenes y cunetas, para formar los elementos estructurales de una carretera u otra estructura de obra lineal (Ros, 2009).

**Desmante:** Excavación en el terreno existente, destinada a eliminar una cantidad de material determinado (Ros, 2009).

**Terraplén:** Aporte o relleno de tierra en una zona de cota inferior a la prevista en el proyecto. Pueden aprovecharse, si son aptas, las tierras extraídas de zonas de desmante (Ros, 2009).

**Línea de muestreo:** Línea que suele cortar una alineación y que puede utilizarse para crear secciones transversales (Ros, 2009).

**Obra lineal:** Cualquier ruta cuya longitud y ubicación están regidas normalmente por una o más alineaciones horizontales y verticales. Cabe citar como ejemplos las carreteras, vías de ferrocarril, calzadas, canales, cunetas, travesías y pistas de aeropuerto (Ros, 2009).



**Subensamblaje:** Objeto de dibujo de AutoCAD que define la geometría de un componente que se utiliza en la sección de una obra lineal. La paleta de herramientas de AutoCAD Civil 3D y los catálogos de herramienta ofrecen una variedad de subensamblajes preconfigurados, tales como carriles de circulación, bordillos, arcenes y cunetas (Ros, 2009).

#### **1.4. Generalidades sobre el software AutoCAD Civil 3D.**

AutoCAD es una herramienta de ingeniería potente, y diseñada para aumentar la productividad, ahorrar tiempo y reducir los costos significativamente. Utiliza un probado modelo de ingeniería dinámico que mantiene relaciones inteligentes entre los objetos. Un cambio realizado en un elemento actualiza instantáneamente todo el proyecto, ayuda a terminar en menos tiempo y con más precisión los trabajos. Todos los ingenieros que intervienen en el diseño trabajan con el mismo modelo actualizado y coherente, manteniéndose sincronizados durante todo el proyecto, incluidas las fases de levantamiento topográfico, diseño, dibujo, análisis y visualización.

AutoCAD Civil 3D es capaz de realizar cálculos automáticos de volúmenes de desmonte y terraplenes. Además, por su rapidez y automatización en los cálculos, es posible realizar distintos escenarios de modelos de terreno para elegir el que mejor se adapte a nuestras necesidades, de forma que el trazado de viales planteados sea viable, para cumplir las normas vigentes, y plantear una solución que no exija movimientos de tierra excesivos.

#### **1.5 Requisitos de hardware y software para Autocad Civil 3D.**

Sistemas operativos

- Microsoft® Windows® XP Professional SP2 o posterior
- Microsoft Windows XP Professional 64-bit Edition SP2 o posterior
- Microsoft Windows Vista® SP1 o posterior o Microsoft Windows Vista 64-bit Edition SP1 o posterior,
- Windows Vista Enterprise
- Windows Vista Business
- Windows Vista Ultimate
- Windows Vista Home Premium



## Explorador

- Internet Explorer® 7.0 o posterior

## Resolución de pantalla

- 1280 x 1024 con Color verdadero

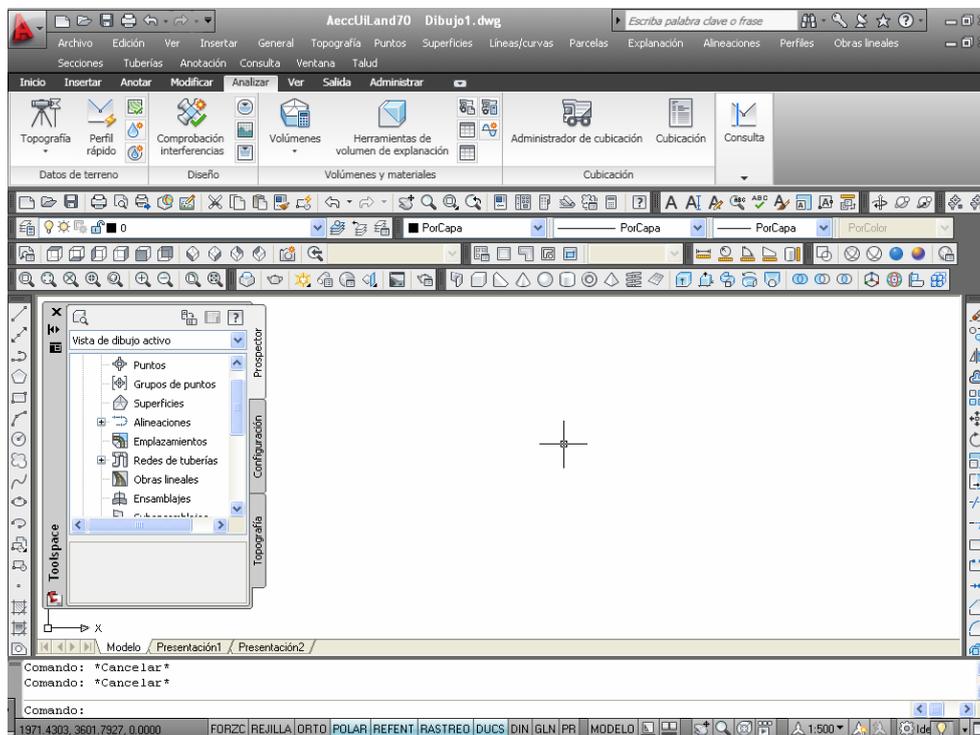
## Memoria Ram

- 2 GB de memoria RAM

## Requisitos adicionales para modelado en 3D

- Adaptador de vídeo en color de 32 bits, 1600 x 1200 o superior (Color verdadero) 128 MB o superior y tarjeta gráfica para estación de trabajo compatible con Direct 3D®.

Nueva visualización del entorno de dibujo y sus aplicaciones se muestra en la figura 1.4.



**Figura 1.4** Visualización del entorno del AutoCAD Civil 3D.

## 1.6 Características fundamentales del software AutoCAD Civil 3D.

- Modelo basado en diseño dinámico.
- Alineación vertical en diseño 3D actualizando el modelo de camino automáticamente.
- Propone contornos automáticos en superficies de diseño, recalcula volúmenes, actualiza el perfil longitudinal del terreno natural y perfil de diseño o rasante.



- Asume parámetros de diseño y alerta cuando se infringen estos parámetros.

## Conclusiones

Después de profundizar críticamente en el estado actual y perspectivas en que se encuentra el diseño de caminos mineros, se llegó a una serie de conclusiones que no son más que el reflejo de la necesidad y validez de la investigación que se describe en la presente tesis.

1. Los diseños de caminos mineros actuales que se realizan en la empresa de Ingeniería y Proyecto del Níquel, están orientados hacia el uso de las nuevas tecnologías CAD.
2. Los software que se utilizan para el diseño de caminos mineros en nuestro país y en la empresa de Ingeniería y Proyecto del Níquel, presentan limitantes que van en contra de las exigencias de los proyectos de hoy en día.
3. Las facilidades y ventajas que ofrece el software AutoCAD Civil 3D son superiores que las brindadas por el software Autocad Land Desktop.



---

## Capítulo II: PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS MINEROS CON EL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D.

### 2.1 Introducción.

En medio de las transformaciones que se están realizando en el modelo económico cubano, cada medida que se tome con el objetivo del ahorro tiene un gran impacto económico y social. Es por eso, que todas las empresas de ingeniería y proyecto del país centran su atención en la disminución del tiempo de diseño en los proyectos, debido al alto valor económico que representa para el estado, seguir diseñando por los métodos tradicionales.

El desarrollo continuo e inevitable del conocimiento científico ha provocado una gran revolución en las esferas de la ciencia y la técnica. Los procedimientos utilizados en la proyección de obras ingenieriles ha evolucionado considerablemente y continúa perfeccionándose de forma gradual con el empleo de métodos digitales.

Con este capítulo se pretende dar los lineamientos necesarios para lograr un correcto diseño de viales, utilizando la **Estación Total** como tecnología de campo y el software **Autocad Civil 3D** como tecnología de diseño.

En el desarrollo de un proyecto vial convencional, los datos necesarios del terreno, se tipificaban en tablas con datos numéricos, conformación de perfiles transversales, tomando como guía el eje del camino a proyectar. Todo esto dificulta e incrementa de forma sensible los costos y el tiempo, al momento de analizar diferentes alternativas.

Esta nueva forma de diseñar y proyectar caminos con el empleo de software de última generación, como es el caso del AutoCAD Civil 3D; se hace imprescindible por la capacidad que poseen de realizar con gran rapidez unas secuencias prefijadas de operaciones aritméticas; su modelo de ingeniería dinámico, proporciona potencia para complementar hasta un cincuenta por ciento más rápido los proyectos de caminos, además de estar preparado para realizar ciertas operaciones lógicas que hacen que el ingeniero escoja la variante más económica y sustentable a la hora de proyectar un camino minero.



En el presente procedimiento se desarrolla un método para el diseño de caminos mineros, donde se caracterizan cualitativamente la interrelación terreno-software sobre la base de cálculos matemáticos.

## 2.2 Esquema o flujo de trabajo para el diseño de un camino con AutoCAD Civil 3D.

### Primer paso

Abrir o cargar el programa Autocad Civil 3D.

### Segundo paso

Creación del Modelo Digital del Terreno (MDT).

En este paso es donde:

- Se importan los puntos.
- Se definen las propiedades del grupo de puntos.
- Se crea el Modelo Digital del Terreno (MDT).

### Tercer paso

Creación de la Alineación (trazado en planta)

En este paso es donde:

- Se crea una alineación a partir de una polilínea.
- Se define el diseño según las normas vigentes.

### Cuarto paso

Creación de Perfiles a partir de superficies (perfil longitudinal).

En este paso es donde:

- Se dibuja y visualiza el perfil.
- Se crea el perfil compuesto (perfil de rasante).



**Quinto paso**

Creación de línea de muestreo  
(sección transversal).

En este paso es donde:

- Se visualizan las líneas de muestreo por intervalo de P.K.
- Se definen los parámetros según las normas vigentes.



**Sexto paso**

Creación de ensamblaje.  
(sección tipo)

En este paso es donde:

- Se dibujan, y quedan definidos todos los elementos que componen un vial, según las normas vigentes.
- Se definen los subensamblajes.



**Séptimo paso**

Creación de obra lineal.  
(creación del camino).

En este paso es donde:

- Se selecciona una alineación de línea base o pulsamos **Enter** para seleccionarla de la lista.
- Se selecciona un perfil y, un ensamblaje para crear la obra lineal.
- Se hace una visualización previa del camino.



**Octavo paso**

Creación de la superficie del camino.

En este paso es donde:

- Se configuran las propiedades de la obra lineal.
- Se crea el entorno de la obra lineal.
- Se identifican las zonas de corte y relleno.



**Noveno paso**

Creación de las secciones a  
apartir de obra lineal.  
(secciones del diseño)

En este paso es donde:

- Se crean nuevamente líneas de muestreo.
- Se visualizan los perfiles en diferentes vistas.



### Décimo paso

Creación de los criterios de cubicación (cálculo de volumen). (desmonte o terraplén)

En este paso es donde:

- Se definen numérica y gráficamente las zonas de corte y relleno.
- Se calcula el volumen.



### Oncono paso

Visualización del camino en 2D y 3D.

En este paso es donde:

- Se visualiza el vial en 2D y 3D.

## **2.3. Pasos lógicos para el diseño geométrico de un camino.**

En este capítulo se esboza un procedimiento para el diseño geométrico de caminos mineros, el cual le permita a los ingenieros de minas introducirse en el empleo del software AutoCAD Civil 3D, con total apego a las normas vigentes en Cuba y los criterios técnicos para el diseño.

### **2.3.1 Abrir el programa AutoCAD Civil 3D.**

Para esto damos un clic en el menú **Inicio ► Todos los Programas ► Autodesk ► AutoCAD Civil 3D 2010-España ► AutoCAD Civil 3D-Español**, como se muestra en la figura 2.3.1.

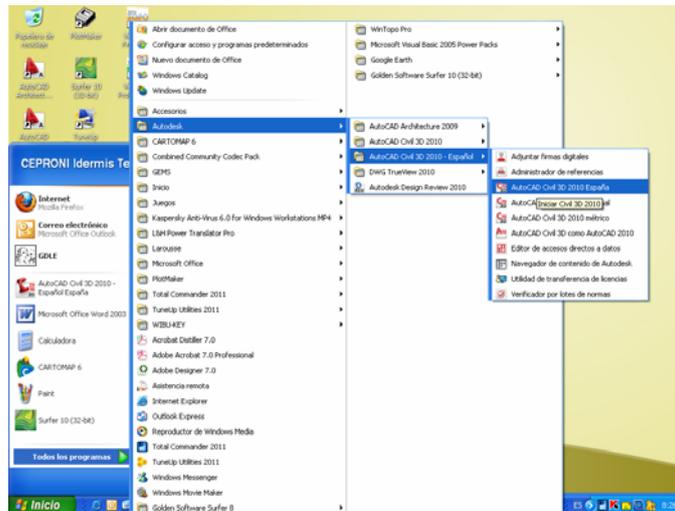


Figura 2.3.1 Abrir programa AutoCAD Civil 3D.

### 2.3.2 Creación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

Es en este paso donde se crea un modelo digital del terreno general; para lograrlo primero hay que importar puntos y definir las propiedades del grupo de punto.

#### 2.3.2.a Para importar puntos

Antes de comenzar a importar los puntos, se debe tener con anterioridad una base de datos en formato txt, donde estén las coordenadas X, Y, Z del área por donde se pretende diseñar el vial. Ver figura 2.3.2

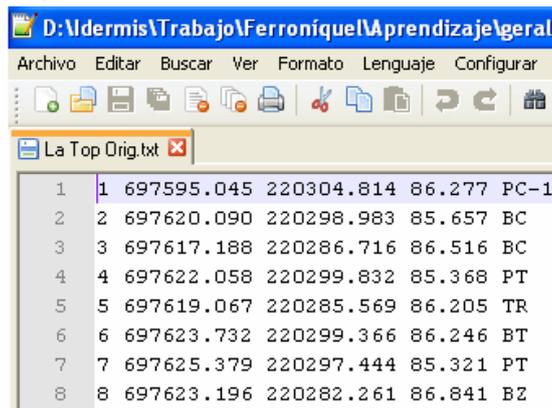
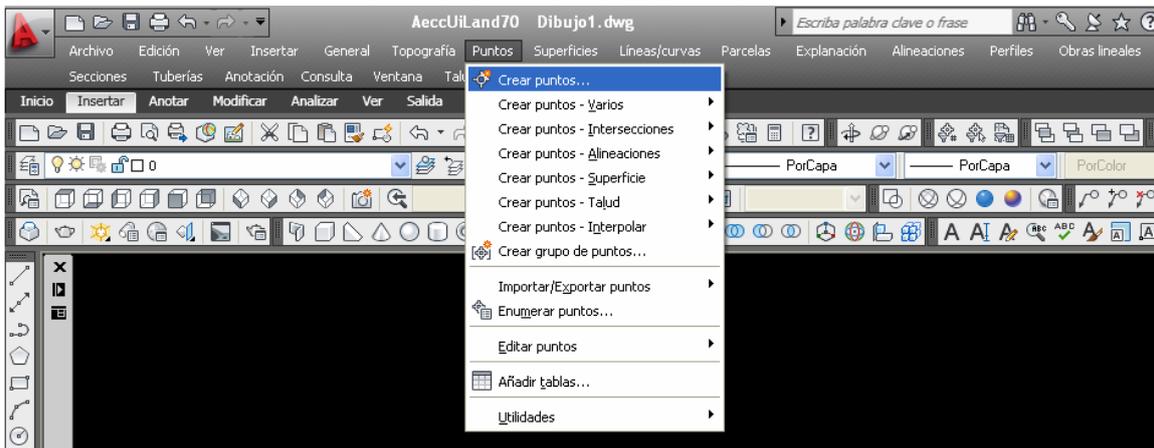


Figura 2.3.2 Formato de puntos del fichero txt.

Una vez obtenida la base de datos de forma correcta, pasaríamos a importar la misma al software. Para lograrlo hacemos clic en el menú **Puntos** ► **Crear puntos**. Como se muestra en la figura 2.3.3.



**Figura 2.3.3** Ventana para crear puntos en Autocad civil 3D.

Después hacemos clic en **Importar puntos**.



En la ventana de importación hay que seleccionar el formato con el que se quiere trabajar, en nuestro caso utilizamos **PENZD (delimitado por el espacio)**. En el **Archivo(s) de origen** hacemos clic en seleccionar archivo de origen, donde buscamos el fichero que contiene los puntos; después damos un clic en **Añada puntos al grupo de puntos**, acto seguido **añadimos un grupo de puntos** y, en la ventana que aparece le ponemos un nombre a este grupo de puntos y hacemos clic en **aceptar** en las dos ventanas. Como se muestra en la figura 2.3.4.

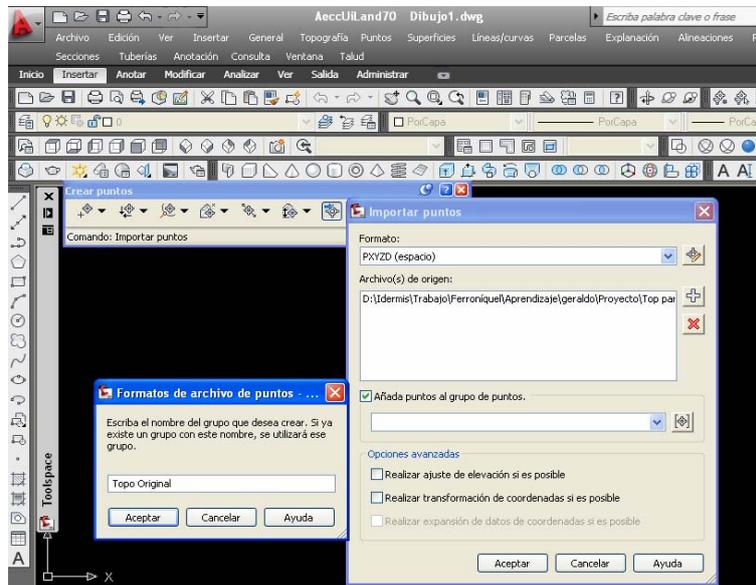


Figura 2.3.4 Ventanas, crear, importar puntos y añadir un grupo de punto.

### 2.3.2. b Propiedades del grupo de puntos.

En este acápite es donde se determina el estilo de puntos y la etiqueta del grupo de puntos que se va a utilizar. Para lograrlo hacemos un clic en **General ► Espacio de herramientas**, y dentro de este hacemos clic en la ficha **Propector**, después damos un clic en **Grupos de puntos**, buscamos el nombre del grupo de puntos guardado, y le damos clic **derecho ► propiedades**, donde se despliega una ventana para configurar los estilos de punto y el estilo de etiqueta. Ver figura 2.3.5.

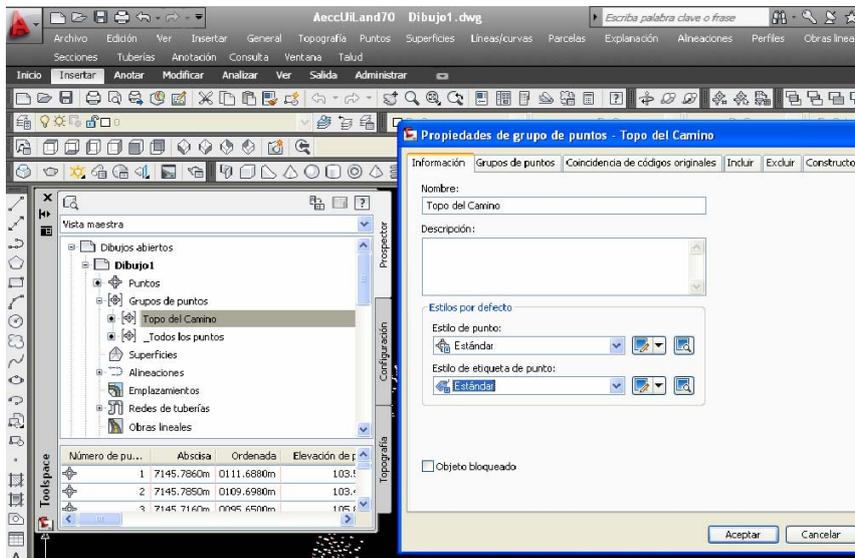


Figura 2.3.5 Propiedad del grupo de puntos.

### 2.3.2. c Creación del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Es aquí donde se representa a escala una parte de la superficie terrestre en un plano digital, donde se observan los diferentes desniveles y accidentes del terreno. En este paso se crea superficie “TIN” (Red de triángulo irregulares) a partir de la cual se generan curvas de nivel.

Para lograr esto, damos un **clik** en el menú **Superficie ► Crear superficie**. Como muestra la figura 2.3.6.

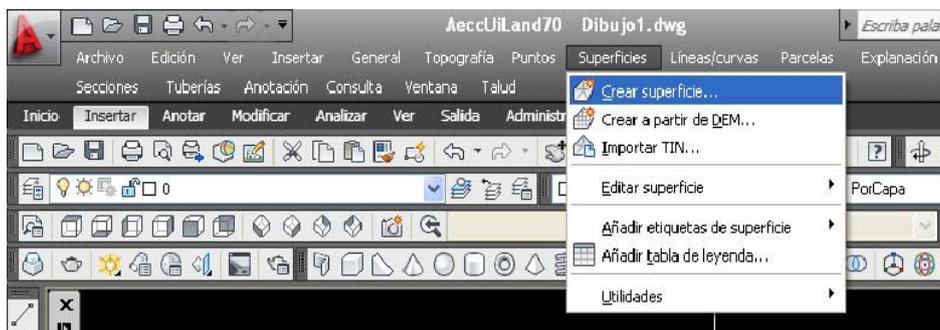


Figura 2.3.6 Crear superficie.

Posteriormente aparece el cuadro de diálogo **Crear superficie**; donde se define el tipo de superficie con la cual deseamos trabajar; para el caso que nos ocupa escogimos en la lista **Tipo ▶ Superficie TIN**. Después seleccionamos la capa donde vamos a guardar la superficie, y para esto se da un clic en  , esta puede ser seleccionada de las existentes o crear una nueva. En la rejilla de propiedades desplegamos la celda donde dice **información** y en la columna que dice **valor** le ponemos un nombre a la superficie, dando un clic en  . El estilo de superficie también puede ser cambiado, para esto solo tenemos que hacer un clic en la **propiedad ▶ Estilo ▶ Valor**, luego se hace clic en  , donde se muestra el cuadro de diálogo **Seleccionar estilo de superficie**. Ver figura 2.3.7.

Una vez, realizadas estas operaciones hacemos clic en **Aceptar**, por lo que a partir de aquí la superficie se mostrará en **General ▶ Espacio de herramientas **, en la ficha **Prospector**.

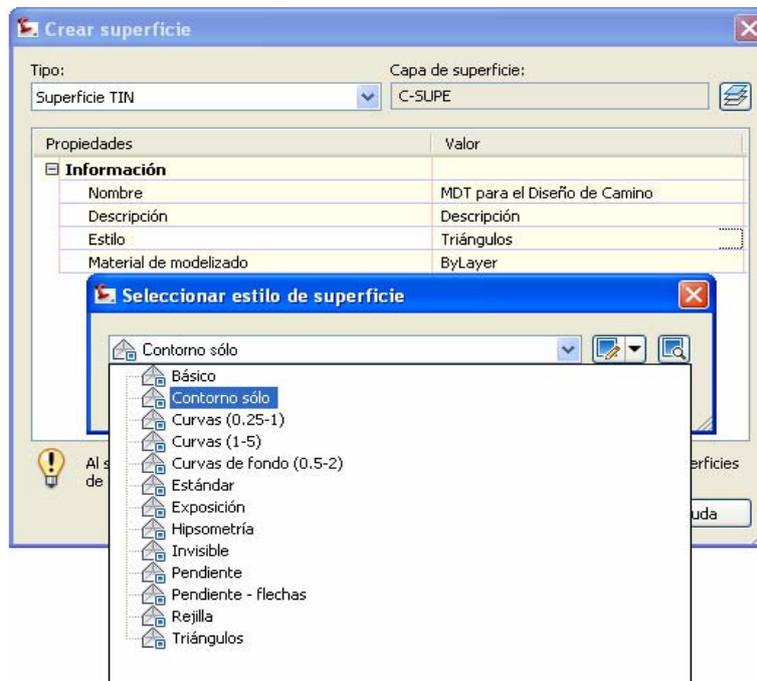
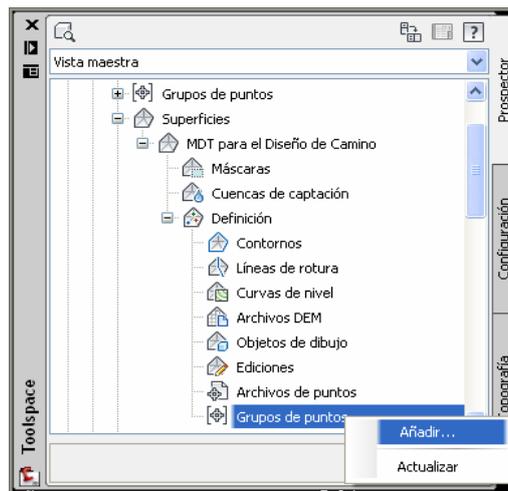


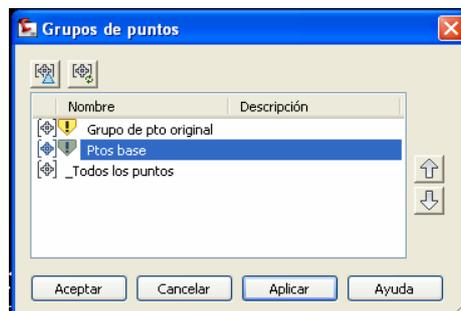
Figura 2.3.7 Estilos de superficie.

Para visualizar la superficie, hay que añadir antes un grupo de puntos; para esto hay que ir al **Espacio de herramientas**, y en la ficha **Prospector**, desplegamos donde dice superficie y realizamos la misma operación en la superficie creada, y luego extendemos donde dice **definición** para acto seguido dar un clic derecho a **Grupos de puntos** ► **Añadir**. Ver figura 2.3.8.



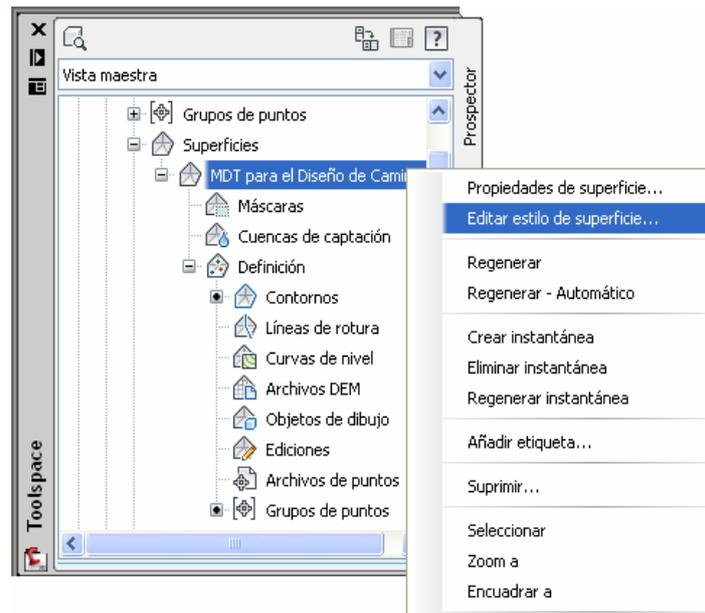
**Figura 2.3.8** Añadir grupos de puntos.

Seguidamente aparece una ventana con el nombre (**Grupos de puntos**), donde aparecen los grupos de puntos que están creados; a partir de ahí seleccionamos el que queremos añadir y después damos un clic en **Aceptar**. Ver figura 2.3.9.



**Figura 2.3.9** Grupos de puntos.

Una vez añadidos el grupo de puntos pasamos a editar la superficie de acuerdo con las exigencias del proyecto. Para esto abrimos el **Espacio de herramientas** y en la ficha **Prospector**, desplegamos donde dice **Superficie**, donde vamos a dar un clic derecho en la superficie creada, después damos otro clic en **Editar estilo de superficie**. Ver figura 2.3.10.



**Figura 2.3.10** Editar superficie.

En la ventana que se visualiza, damos un clic en la ficha de curvas de nivel, en la columna propiedades, desplegamos la propiedad **Suavizado de curvas de nivel** y ponemos verdadero en la columna que dice **Valor**. Ver figura 2.3.11.

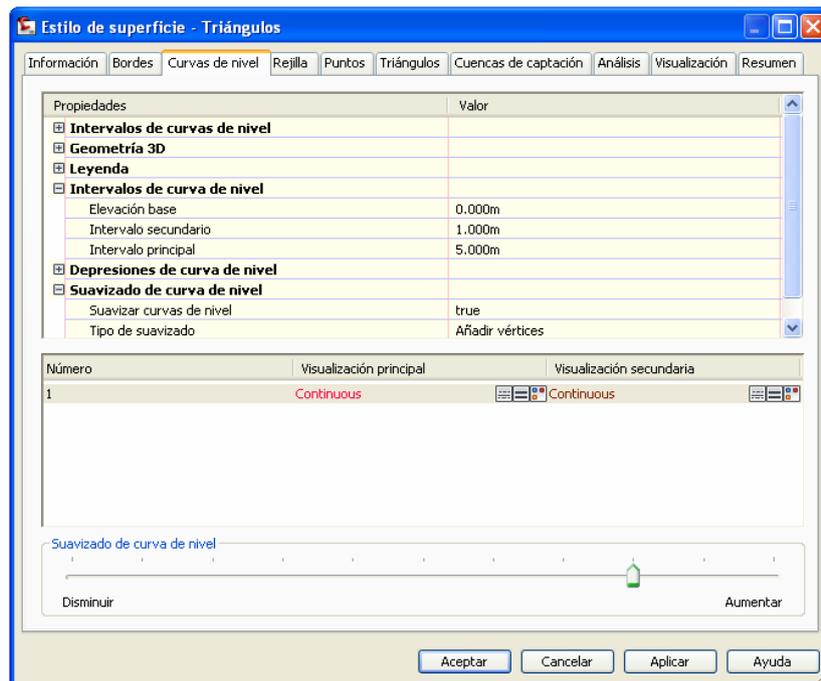


Figura 2.3.11 Suavizado de superficie.

Dentro de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) existen otros parámetros que también deben ser configurados y suavizados, para esto vamos al menú **Superficie ► editar superficie ► suavizar superficie**. Ver figura 2.3.12.

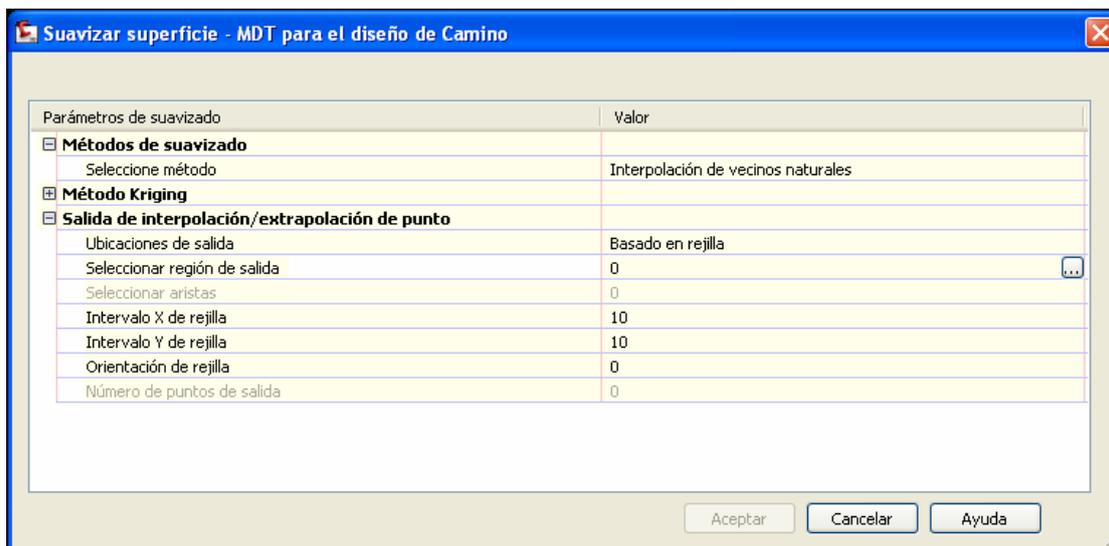
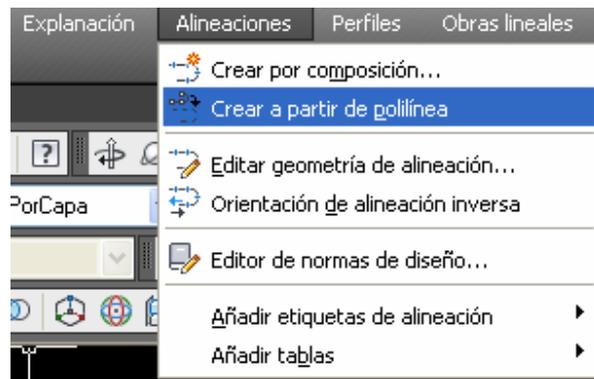


Figura 2.3.12 Parámetro de suavizado.

### 2.3.3 Creación del trazado en planta (Alineación).

Una vez creado y analizado el modelo digital del terreno, además de las características y restricciones del trazado en planta, pasamos a la creación de la alineación horizontal; la cual es la base del camino (eje). Esta alineación se realiza a partir de una polilínea, considerando los parámetros geométricos del vial y los criterios para el trazado en planta; todo esto le permite al diseñador realizar el proyecto dentro de las normas vigentes y con pleno apego a las exigencias del cliente.

Para crear una alineación en el software AutoCAD Civil 3D tenemos que seleccionar en la barra de menú donde dice **Alineaciones ► crear a partir de polilínea**, como se muestra en la figura 2.3.13.



**Figura 2.3.13** Creación de alineación.

En la ventana que se visualiza, es donde escribimos el nombre de la alineación y, en la ficha **General** escogemos el estilo de alineación con que queremos trabajar, además de seleccionar la capa donde pretendemos que esté la alineación, y sin dejar de añadir las curvas entre tangentes según se requiera. En la ficha que dice **Normas de diseño** es donde se va a configurar la velocidad de proyecto, el radio mínimo, cantidad de carriles a utilizar; y al mismo tiempo nos permite elegir si queremos que el vial sea con bombeo o no, para lograr esto último solo debemos dar un clic en la ficha **Usar diseño según normas**.

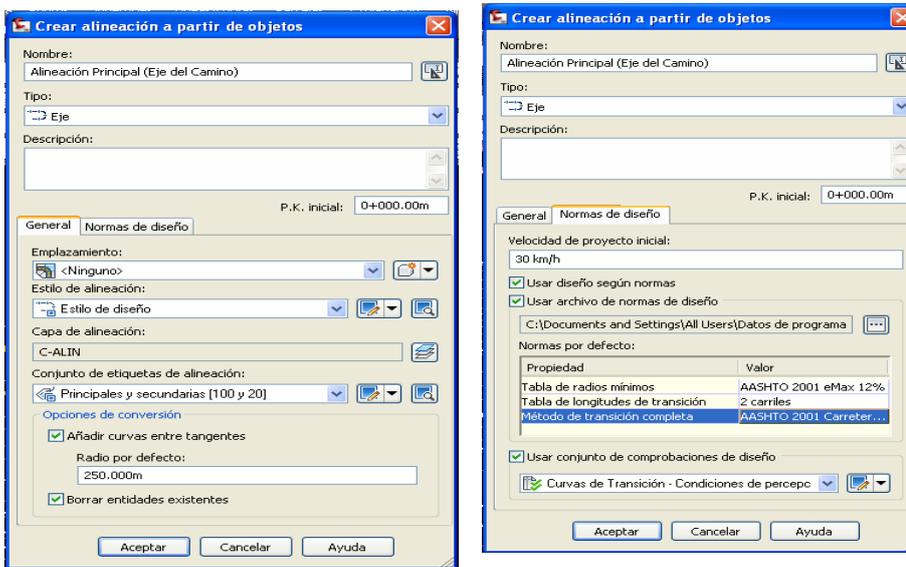


Figura 2.3.14 Editor de normas para el diseño.

### 2.3.4 Creación y visualización de perfiles longitudinales del terreno (perfiles de superficie).

Este es un paso muy importante, porque en la vista de los perfiles se sintetiza gran parte de la información necesaria para construcción de los caminos mineros, expresado tanto de forma gráfica como numérica, permitiendo también observar los diferentes accidentes del terreno natural.

Para lograr esto en el software debemos seleccionar en la barra de menús donde dice **perfiles ► crear a partir de superficie**. Como se muestra en la figura 2.3.15.

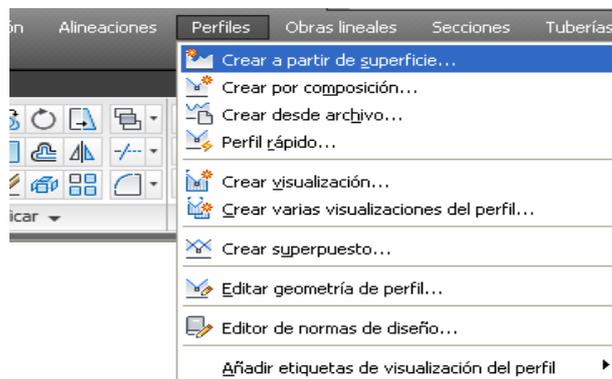
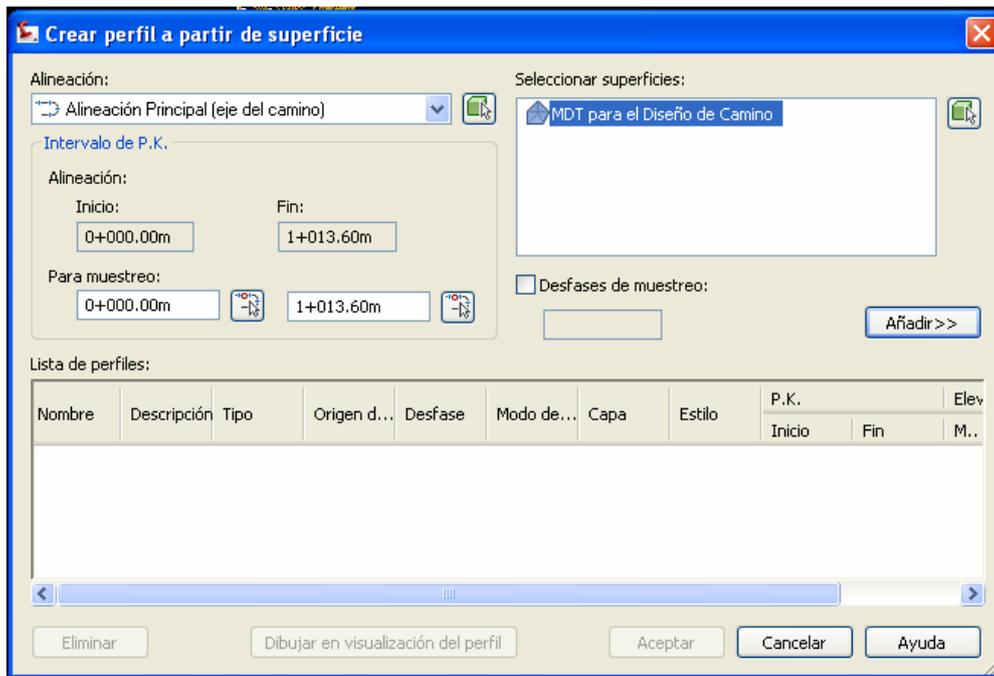


Figura 2.3.15 Creación de perfil.

En la ventana que se visualiza en la pantalla se selecciona la superficie y se elige el nombre de la alineación que se desea utilizar, una vez hecha la selección aparece automáticamente el intervalo de P.K, seguidamente damos un clic en añadir, para que ésta se incluya en la **Lista de perfiles**, como muestra la figura 2.3.16.



**Figura 2.3.16** Parámetros para visualizar el perfil longitudinal.

A continuación damos un clic en **Dibujar en visualización del perfil** para ir configurando los diferentes parámetros del perfil longitudinal, en la ventana que se muestra a continuación podemos darle un nombre a la visualización del perfil, elegir el estilo de la visualización, además de la capa. Una vez terminado esto damos un clic en siguiente para pasar a las demás configuraciones que siguen. El **intervalo de P.K.** y las **alturas de visualización del perfil** pueden ser Automáticas o especificado por el usuario. Después de conformado el perfil hacemos clic en **crear visual del perfil** y en el dibujo seleccionamos el **origen de visualización del perfil**. Ver figura 2.3.17.

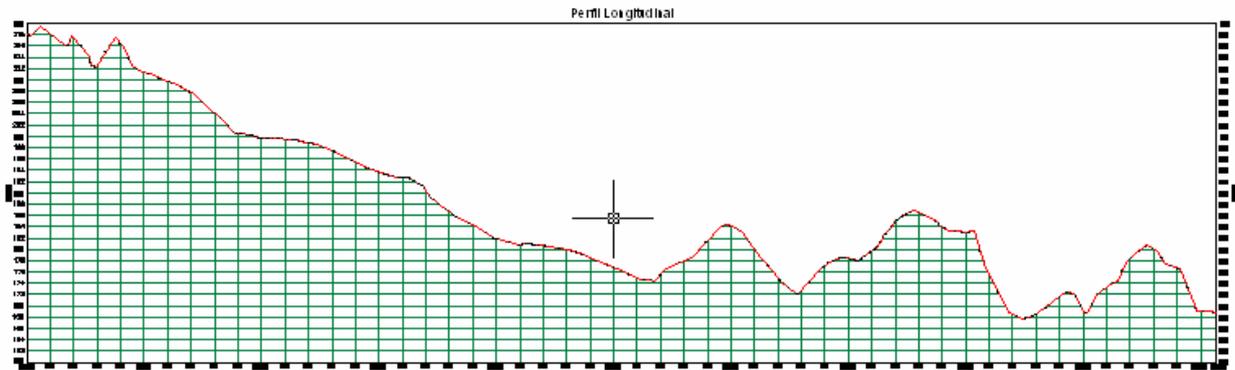


Figura 3.17 Perfil longitudinal del terreno.

### 2.3.4.a Creación y visualización del perfil de la rasante (perfil por composición).

La creación de éste perfil tiene gran importancia para el ingeniero, porque, con él podemos elegir la variante óptima para el diseño, teniendo en cuenta las diferentes pendientes del terreno así como la compensación del corte y relleno que tan importante son a la hora de valorar los costo en un proyecto.

Todo esto, lo podemos realizar con el software Autocad Civil 3D, solo tenemos que dar un clic en **perfil ► crear por composición**, donde sale la ventana de **Crear perfil**, antes debe haberse elegido la visualización del perfil con que trabajaremos, seguido a esto, al igual que para el perfil de superficie, a este le podemos dar nombre, configurar el estilo del perfil y usar diseño según normas etc. Después de configurar los parámetros del perfil le damos **Aceptar**, por lo que aparece reflejada en la pantalla la barra de **Herramientas de composición del perfil-rasante**, donde seleccionamos **dibujar tangentes**. Ver figura 2.3.18.



Figura 2.3.18 Herramientas de composición del perfil.

Acto seguido marcamos en el perfil el lugar por donde pretendemos que pase la rasante; para esto el diseñador debe tener muy claro y con anterioridad la pendiente máxima que pueden vencer los camiones que van a transitar por el vial, y un estudio exhaustivo de la topografía del área, para hacer una mejor planificación del corte y el relleno. Ver figura 2.3.19.

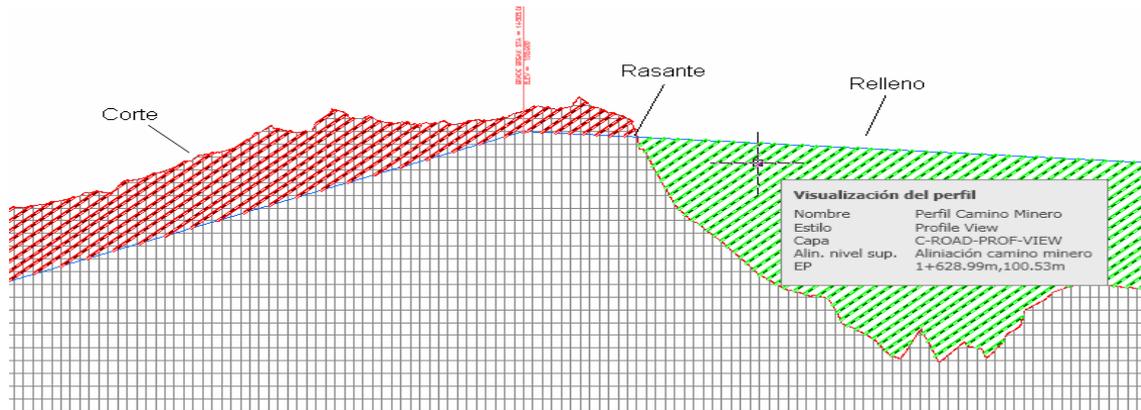


Figura 2.3.19 Vista de la rasante, materiales de corte y relleno.

### 2.3.5 Creación de secciones transversales. (Línea de muestreo)

Las secciones transversales (línea de muestreo) es la vista idónea para definir y cortar perfectamente en una superficie muy amplia el área que se desea utilizar. El software crea una red de triangulación para el cálculo de superficie; con la línea de muestreo podemos calcular los datos de una superficie en particular, por lo que la triangulación va a llegar hasta estas líneas solamente. Estas líneas se crean a lo largo de una alineación horizontal existente.

Para lograr esto seleccionamos en la barra de menú, donde dice **Secciones ► Crear líneas de muestreo**, a continuación elegimos la alineación con la cual vamos a trabajar, seguido a esto se visualiza una pantalla que nos permite darle un nombre a la línea de muestreo, además de configurar los estilos y etiqueta de la misma, así como la capa donde queremos que aparezca la línea de muestreo. Simultáneamente con esa ventana sale la de **Herramientas de líneas de muestreo**, en la cual podemos configurar los intervalos de PK y

la anchura de las dos franja. La línea de muestro debe ser **por intervalo de PK** como se muestra en la figura 2.3.20.

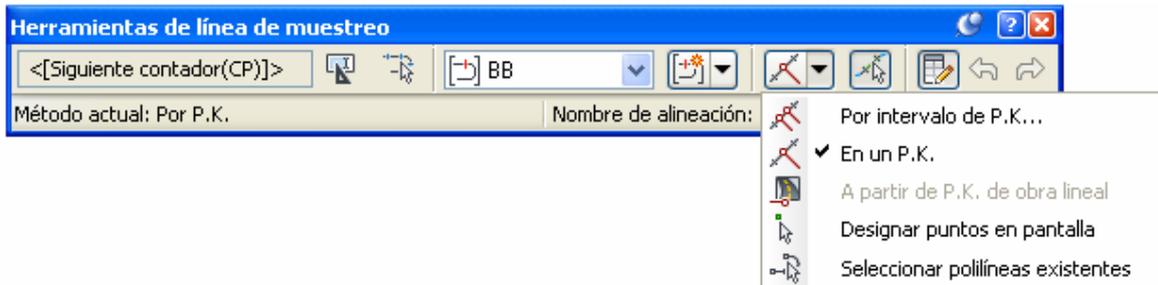


Figura 2.3.20 Ventana de herramientas de líneas de muestreo.

Al dar un clic en **Por intervalo de P.K.** nos aparece una ventana con la cual configuraremos las propiedades de la línea. Ver figura 2.3.21. Las secciones se visualizan con el número de PK, y separadas una de la otra. Ver figura 3.22.

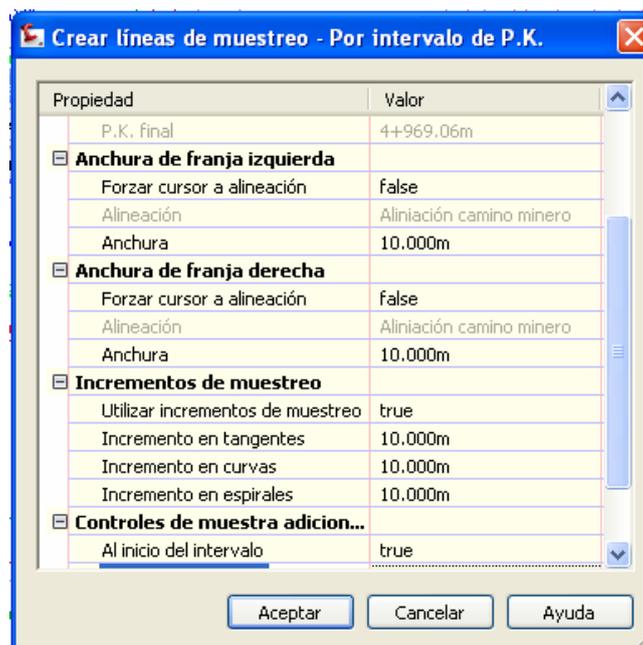


Figura 2.3.21 Propiedades de las líneas de muestreo.

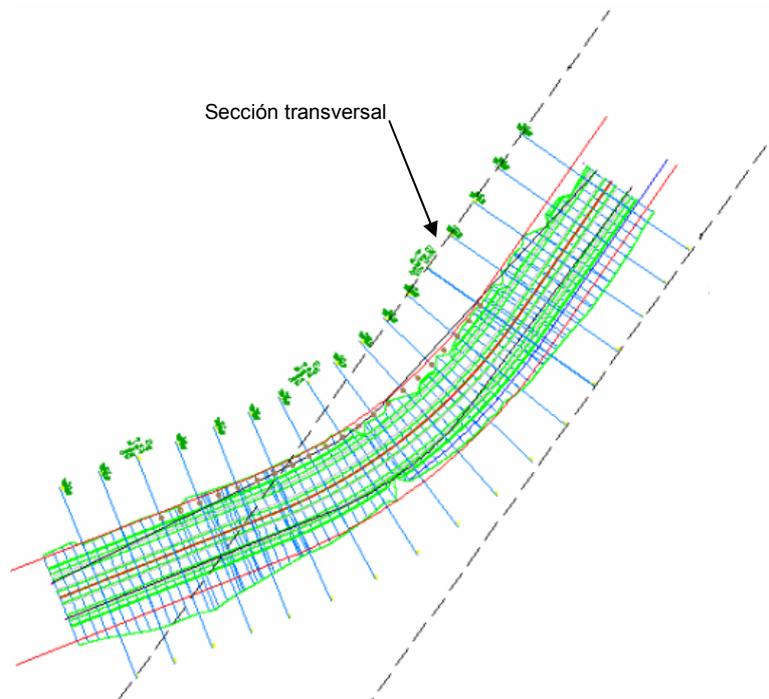


Figura 2.3.22 Visualización de las líneas de muestreo.

En aras de obtener mayor información y observar más al detalle cada una de las secciones de forma individual, se crearan varias vistas a lo largo de una línea de muestreo, para esto sólo hay que ir a la barra menú, donde dice **Secciones ► crear varias vistas**, como se ve en la figura 2.3.23.

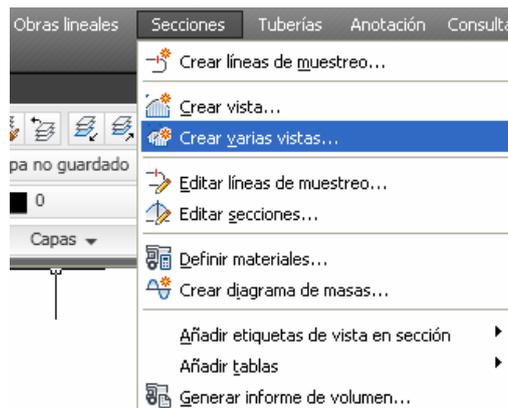


Figura 2.3.23 Creación de varias vistas.

### 2.3.6 Creación de la sección tipo (Ensamblaje).

Es aquí donde el diseñador dibuja y deja definidos todos los elementos que forman parte de un vial, de acuerdo con las condiciones que presenta la topografía. Este ensamblaje no es más que la sección transversal del camino y no la del terreno natural como las anteriores. Para crear esta sección tipo en el software vamos a la barra de menú donde dice **Obras lineales ► crear ensamblaje**, en la ventana que se ilustra pasamos a configurar el ensamblaje, donde le ponemos el nombre, el estilo y la capa. Después damos clic en **Aceptar**. Ver figura 2.3.24 y 2.3.25.

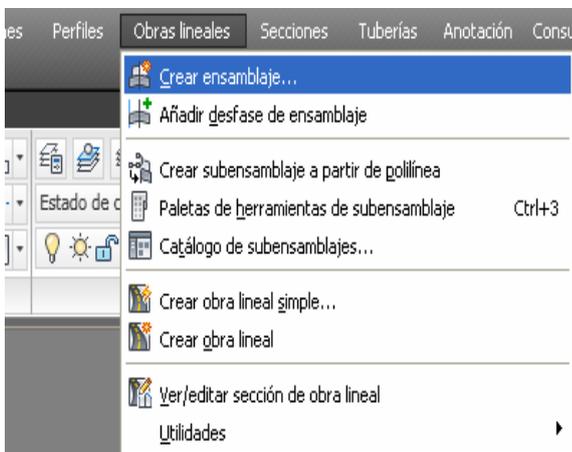


Figura 2.3.24 Creación de ensamblaje.



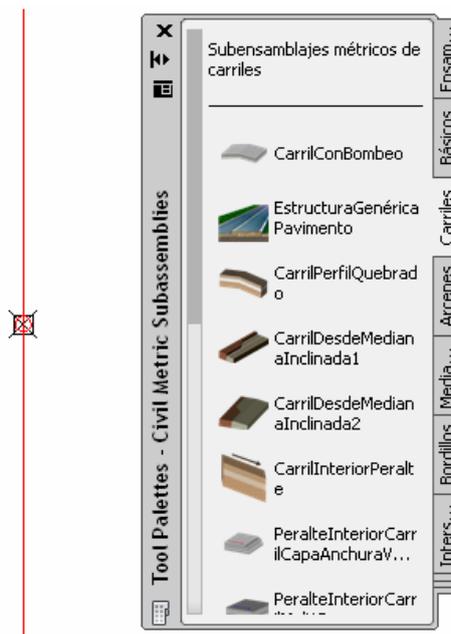
Figura 2.3.25 Configuración del ensamblaje.

Para conformar el ensamblaje damos un clic en la barra de menú **Obras lineales ► Ventana de Paletas de herramientas**, y especificamos la posición del ensamblaje en el dibujo como se muestra en la figura 2.3.26.



**Figura 2.3.26** Ventana paletas de herramientas.

En la barra de herramientas tabla subensamblaje métrico de carriles están todos los componente que forman parte de un vial, para un camino minero necesitaremos de carril con bombeo, arcén básico y pendiente de talud, cuneta y desmonte básico etc. Ver figura 2.3.27.



**Figura 2.3.27** Eje y subensamblajes métricos.

A continuación mostramos el ensamblaje (sección tipo) del camino. Ver figura 2.3.28.

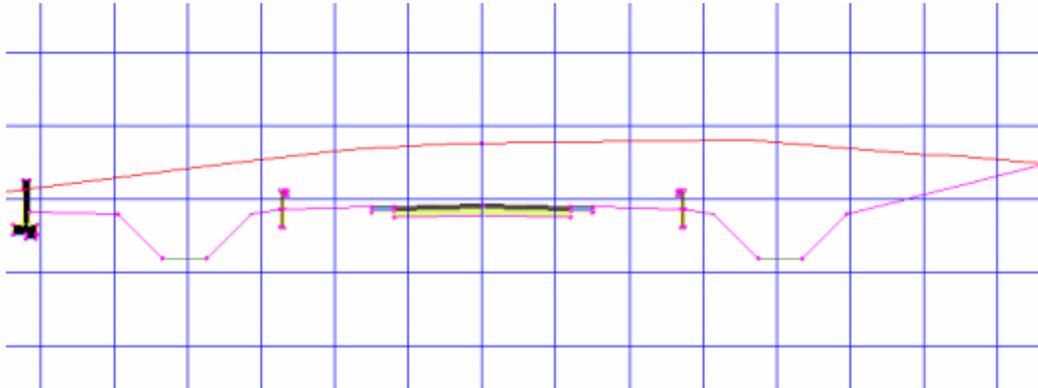


Figura 2.3.28 Ensamblaje.

### 2.3.7 Creación del camino minero (Obra lineal).

Un modelo de obra lineal se crea después de generar la superficie del terreno, de diseñar las alineaciones horizontales, de crear los perfiles, de planificar los parámetros de los peraltes, de crear los subensamblajes y ensamblaje necesarios, etc.

Para lograr la creación de un modelo de obra lineal tenemos que dar un clic en, **Obras lineales ► crear obra lineal simple**, como se observa en la figura 2.3.29.

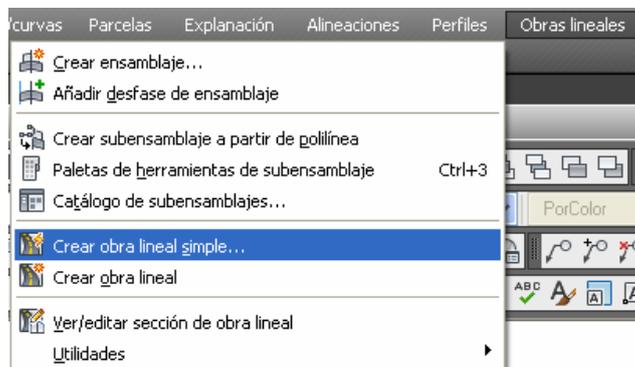


Figura 2.3.29 Creación de obras lineales.

En la ventana que aparece le damos un nombre a la obra lineal y, configuramos el estilo de la misma, acto seguido seleccionamos una alineación de línea base, un perfil y un ensamblaje para crear obra lineal (camino minero). Ver figura 2.3.30.

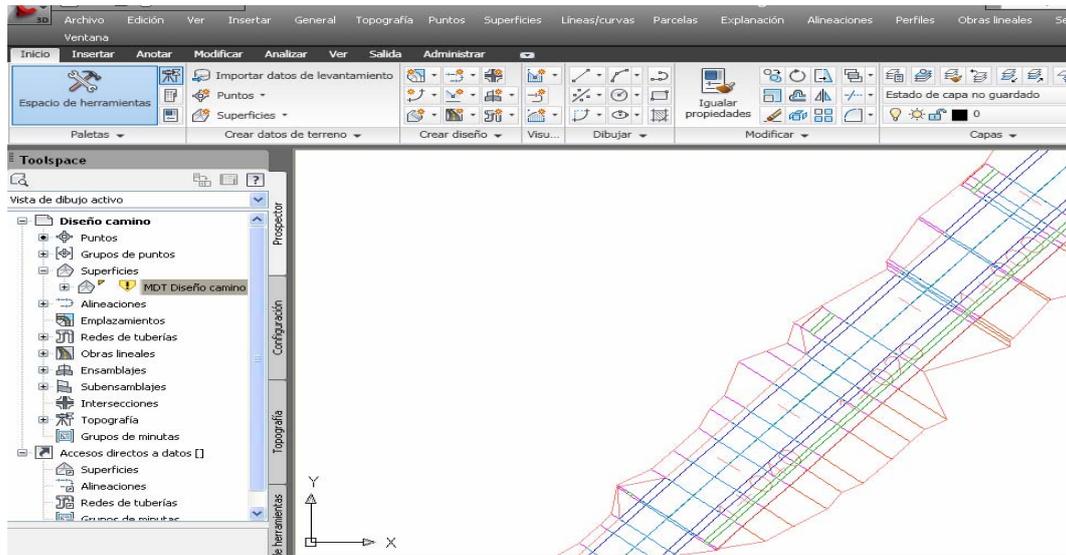


Figura 2.3.30 Obra lineal.

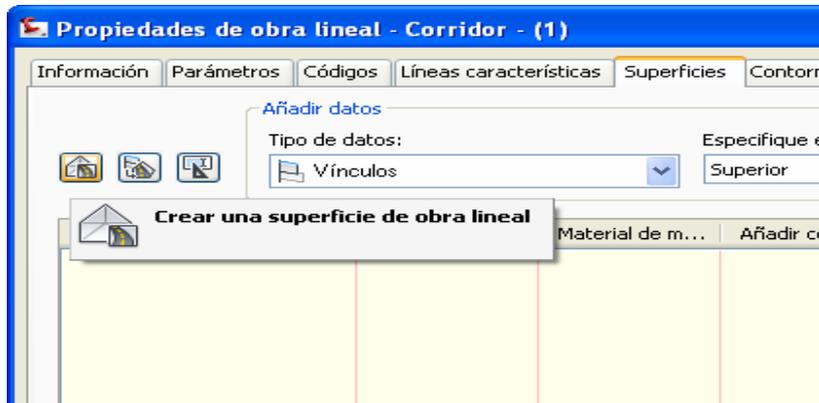
### 2.3.8 Superficie de camino.

Este es un paso muy importante, ya que es aquí donde se configuran las propiedades de la obra lineal, se crea el entorno de la obra lineal y se identifican las zonas de corte y relleno. Para realizar esto damos un clic en la ficha **Propector** del **Espacio de herramienta**, desplegamos donde dice **Obras lineales** y damos un clic derecho **propiedades** al nombre de nuestra obra lineal como indica la figura 2.3.31.



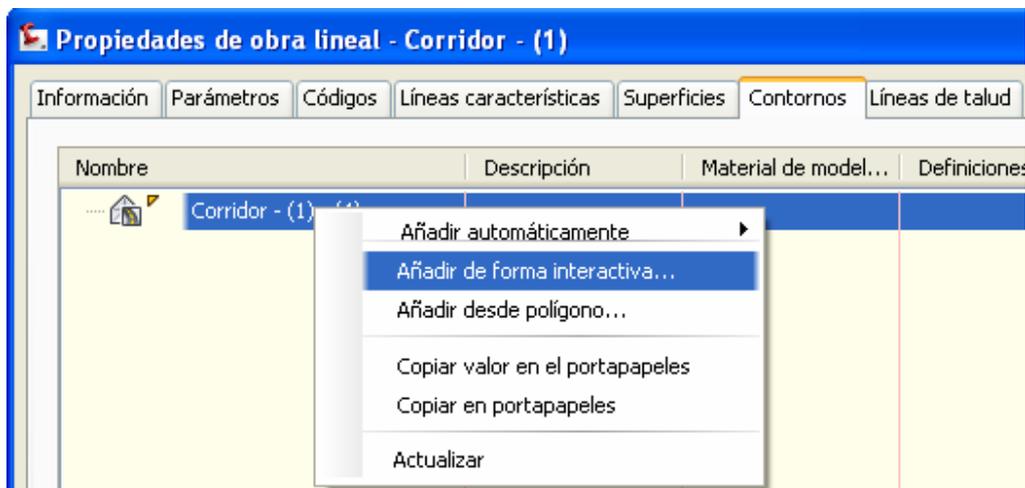
Figura 2.3.31 Propiedades de superficie.

En la ventana de **Propiedades de obra lineal** en el fichero superficie, creamos una superficie de obra lineal y le damos **añadir**.



**Figura 2.3.32** Creación de la superficie de obras lineales.

A continuación marcamos en el fichero **contorno** seleccionamos el camino y añadimos de forma interactiva como se muestra en la figura 2.3.33.



**Figura 2.3.33** Ventana de creación de contorno.

A continuación creamos un contorno partiendo de una arista del camino. Ver figura 2.3.34.

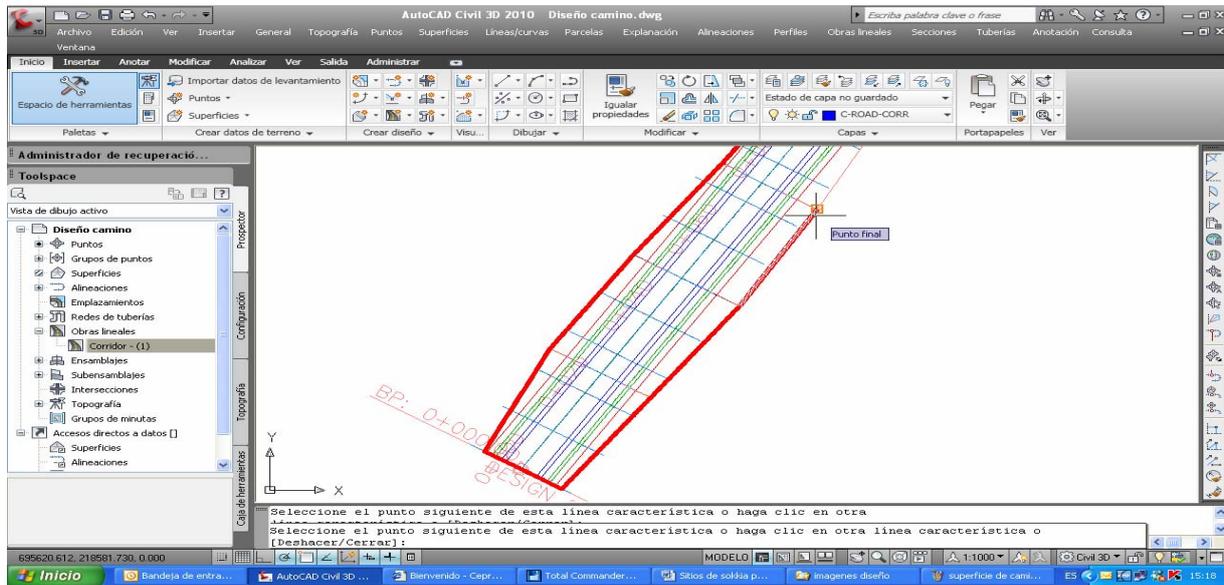


Figura 2.3.34 Contorno.

Después de creado el contorno, seguimos en la propiedad de obra lineal, pero en el fichero **línea de talud**, añadiendo línea de talud y seleccionando la primera línea característica de obra lineal, después seleccionamos corte o relleno en dependencia de la región donde se encuentra la línea y, así sucesivamente.

### 2.3.9 Creación de secciones a partir de obra lineal (secciones del diseño).

En este paso hacemos la misma operación que en el acápite 2.3.5 (creación de línea de muestreo), lo que cambia es que aquí seleccionamos **a partir de P.K. de obra lineal**, como se muestra en la figura 2.3.35.

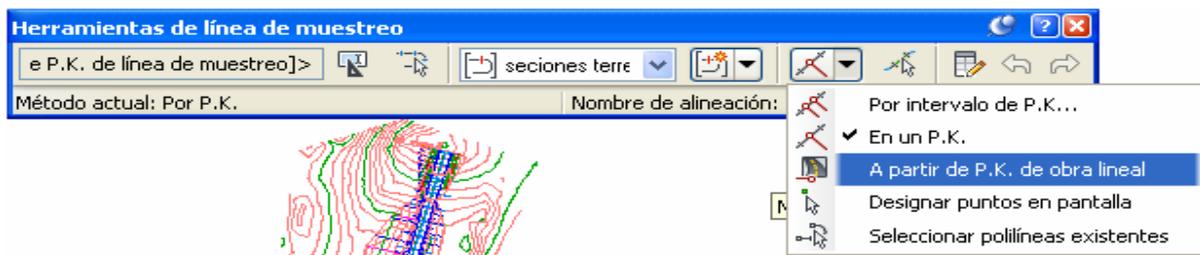


Figura 2.3.35 Creación de secciones de diseño.

En la ventana que aparece configuramos las **Propiedades** y los parámetros de la ficha **Valor** como se muestra en el acápite 2.3.6 figura 2.3.21.

En la ventana **Crear líneas de muestreo por intervalo de P.K** debemos ajustar nueva lista y dar un clic en **Aceptar**.

Volvemos a la barra del menú para dar un clic en **Secciones ► Creamos varias vistas en sección**.

En la ficha Prospector desplegamos el fichero alineaciones de eje, hasta secciones del terreno como se muestra en la figura 2.3.36.



Figura 2.3.36 Para crear vistas de secciones.

En la ventana **Propiedades de grupo de líneas de muestreo** en el fichero **secciones** hacemos clic en **muestrear más orígenes**. Ver figura 2.3.37.

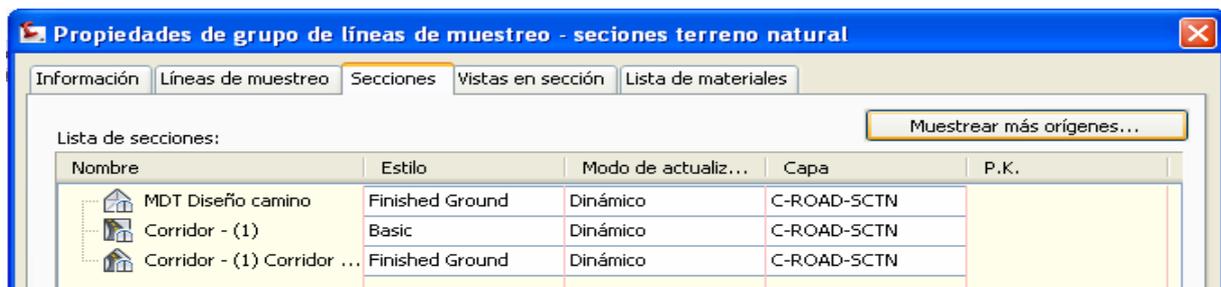


Figura 2.3.37 Propiedad de origen de sección.

En la ventana de **Orígenes de secciones** añadimos el vial, y luego damos clic en **Aceptar**. Ver figura 2.3.38.



Figura 2.3.38 Origen de secciones.

Así queda conformada la sección del vial. Ver figura 2.3.39.

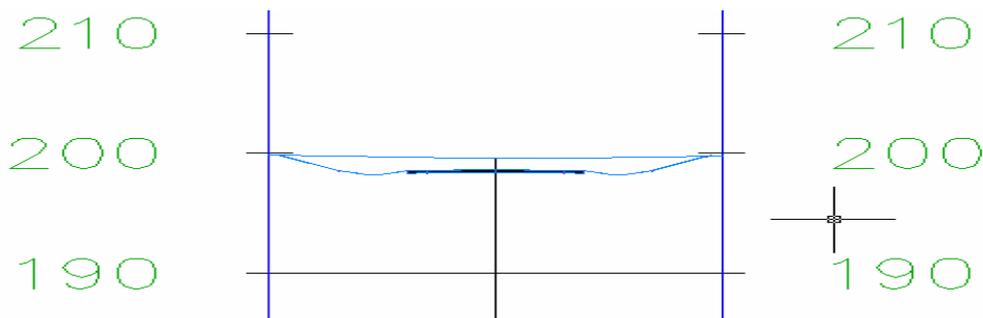


Figura 2.3.39 Secciones transversales del camino.

### 2.3.10 Cálculo de volumen (criterio de cubicación).

Estos criterios se realizan con el objetivo de obtener información numérica y gráfica del volumen de material a cortar o rellenar (desmonte o terraplén). También permite realizar consulta de las diferencias de volúmenes.

Para realizar este paso debemos ir a **Configuración del Espacio de herramientas** y desplegar la ficha **Cubicación**, donde daremos un clic derecho en la función **cut and fill** (corte y relleno) **Editar**. Ver figura 2.3.40.



Figura 2.3.40 Configuración de la ventana para corte y relleno.

En la ventana de Criterios de Cubicación tenemos que seleccionar la superficie y añadir el material, después damos un clic en **Definir a partir de un grupo de líneas de muestreo**. En el fichero **Condición** definimos el material que va debajo y encima, dando luego un clic en **Aceptar**. Ver figura 2.3.41.

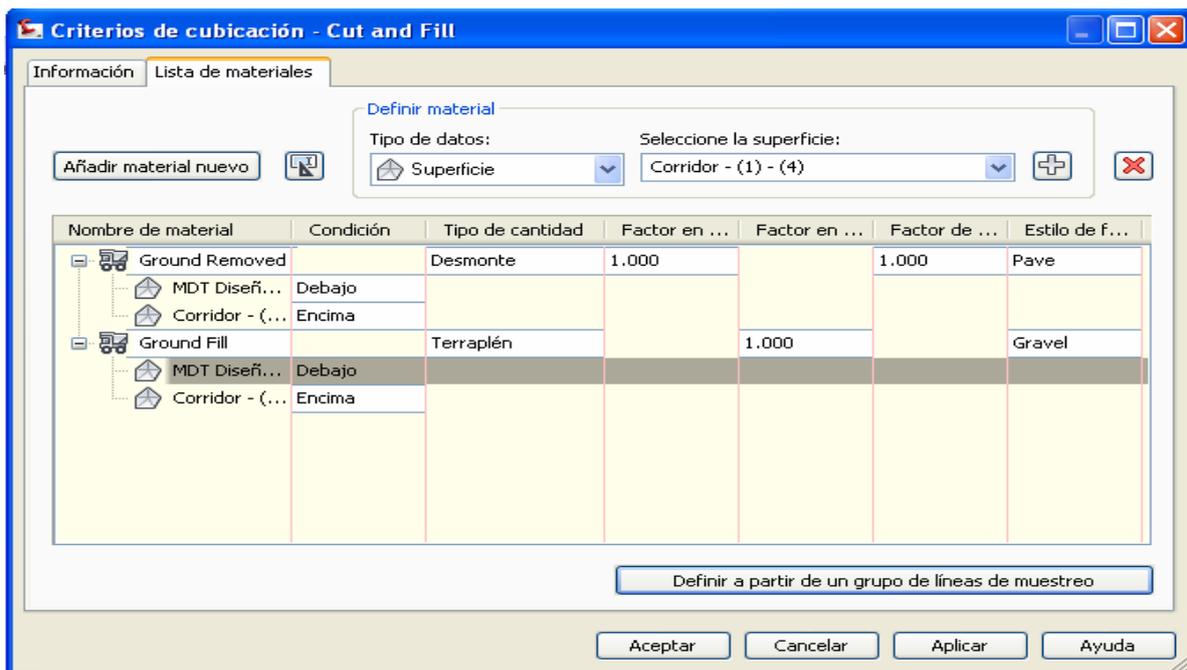


Figura 23.41 Lista de materiales.

### 2.3.11 Definición de materiales.

La definición de los materiales nos permitirá crear tablas e informes de cubicación, así como de diagrama de masa. Con los cuales se puede obtener información de los volúmenes a mover, que será usada para una mejor planificación y un menor costo de la obra.

Para realizar este paso vamos a la barra de menú **Secciones ► definir materiales**, donde seleccionaremos un grupo de líneas de muestreo. Ver figura 2.3.42.

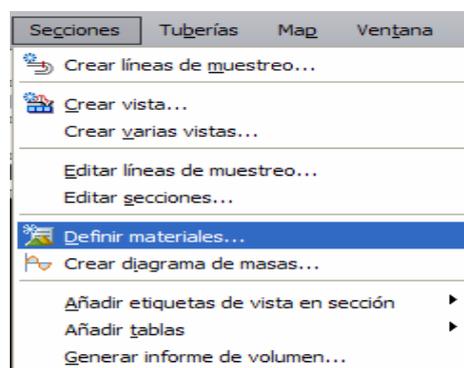


Figura 2.3.42 Creación de materiales.

En el cuadro calcular materiales, marcamos el nombre del objeto y del material, y después damos un clic en **Aceptar**.

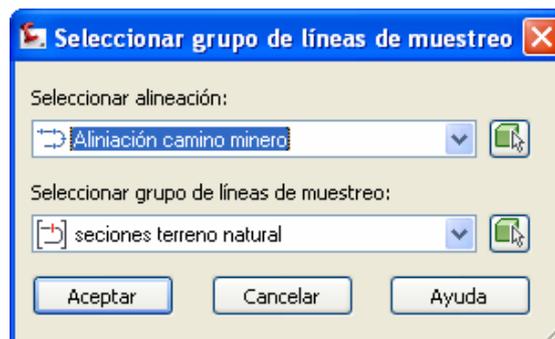
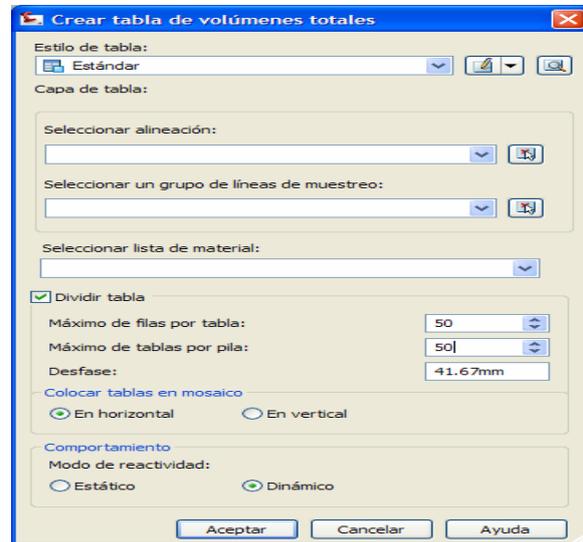
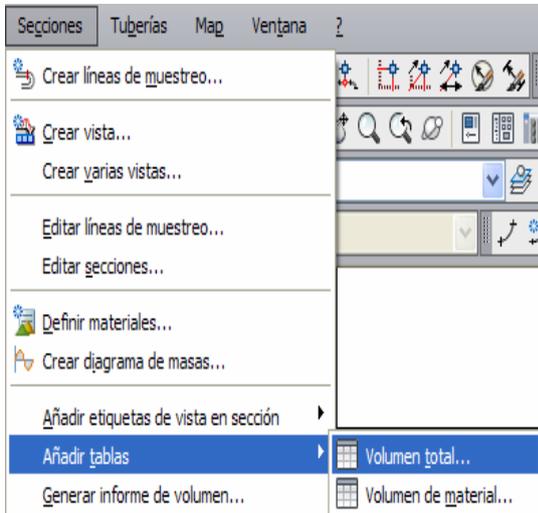


Figura 2.3.43 Selección de grupos de línea de muestreo.

En el menú seleccionamos **Secciones ► añadir tablas ► volumen total**, en la ventana que aparece configuramos el estilo de tabla (corte y relleno), la capa en la que deseamos

trabajar, seleccionamos la alineación, el grupo de línea de muestreo, la lista de materiales y en el máximo de filas por tablas. Ver figura 2.3.44 y 2.3.45.



**Figura 2.3.44** Creación de tablas de volumen. **Figura 2.3.45** Propiedades de volúmenes.

Después pasamos a añadir las tablas de volúmenes, para esto debemos ir a la barra de menú donde dice **Secciones ► añadir tablas ► volumen de material**, en la ventana que aparece realizamos el mismo procedimiento que en el párrafo anterior.

Por último pasamos a generar informes de volumen, para esto vamos a la barra menú **Secciones ► Generar informe de volumen**, donde aparecerá una ventana de presentación de cubitaciones, en la cual elegimos la alineación y le damos **Aceptar**. Ver figura 2.3.46.



**Figura 2.3.46** Para añadir tablas.

De esta forma terminamos con el diseño de un camino minero.

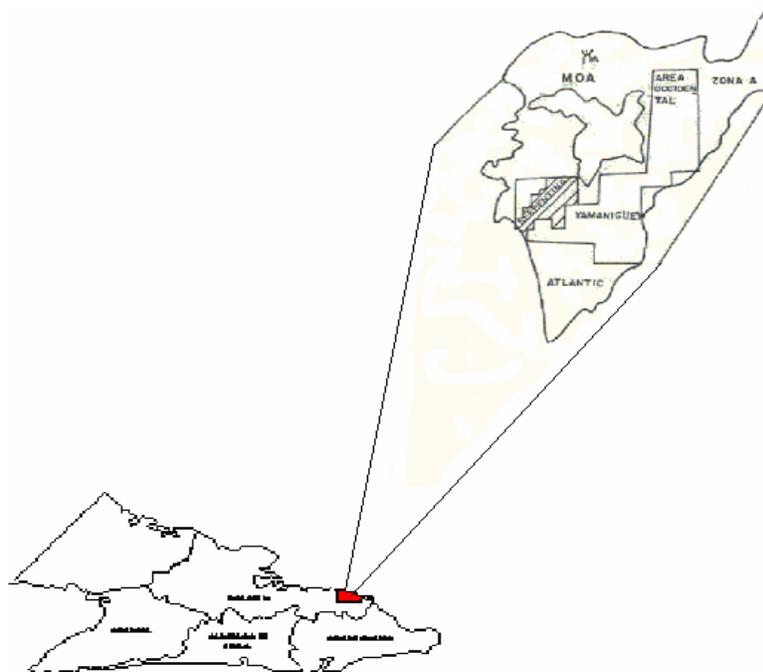
### Conclusiones parciales

- 1- Se elaboró un procedimiento para diseñar caminos mineros con el software AutoCAD Civil 3D, el cual permite un mejor diseño y un ahorro considerable de tiempo.

## CAPÍTULO III: DISEÑO DE UN CAMINO MINERO CON EL SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D EN UN ÁREA DETERMINADA CON LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CREADO (CASO DE ESTUDIO).

### 3.1 Introducción.

El campo de la minería aplicada a los trabajos a cielo abierto se encuentra estrechamente vinculado con los estudios integrados de diseños de viales, que incluyen los trabajos relacionados con el diseño de caminos mineros utilizando tecnología CAD y los aspectos del terreno que intervienen en el diseño de caminos mineros, que constituyen una de las tareas científicas planteadas en esta investigación para la demostración de la hipótesis esbozada. Para lograrlo se le realizó un estudio en el área de la concesión minera Moa Occidental II, que se localiza en la margen occidental del río Cabaña, en la zona que comprende los antiguos yacimientos zona A, zona B de la Empresa Mixta Pedro Sotelo Alba (Moa Nickel S. A). En la actualidad, una parte de esta área será utilizada por la empresa Ferroníquel Minera SA.



**Grafico 3.1. Ubicación geográfica de la zona.**



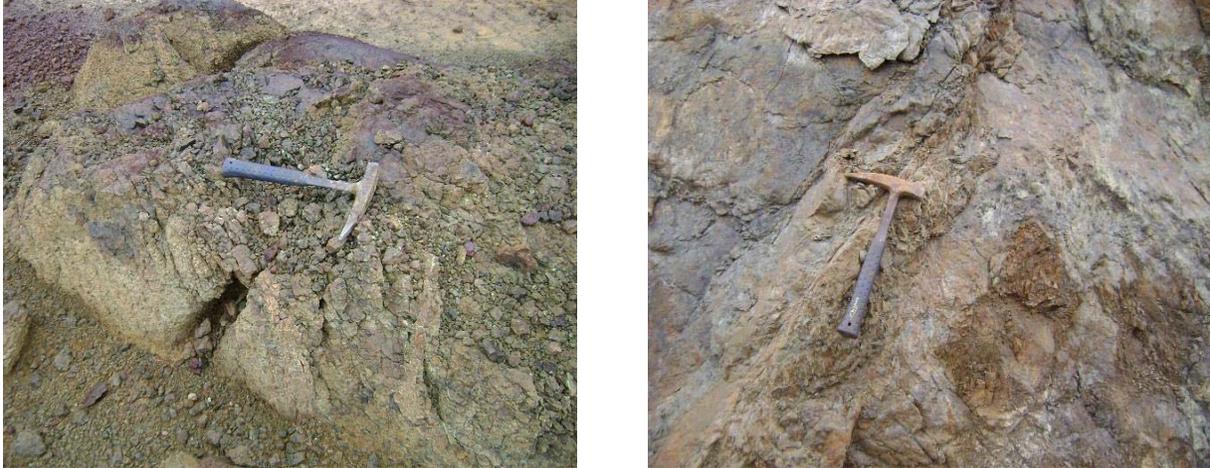
### **3.2. Características físico-geológicas de la zona por donde se proyectará el vial.**

La región (Rodríguez .A 1999) se encuentra emplazada en una zona tectónicamente compleja donde se conjugan los desplazamientos horizontales de bajo ángulo, es una zona de intenso agrietamiento. El área de estudio está localizada en yacimientos de corteza de meteorización ferroniquelífera donde fué minado el mineral limonítico. Los suelos presentes son, in situ, de la corteza de meteorización serpentínica y redepósitos lateríticos, de color carmelita con tonalidades amarillentas, rojizas y oscuras, la capa “MH” (Limo arcilloso plástico) es la mayor representada, aunque como promedio es un limo arcilloso plástico con arena, no es homogénea, también la constituyen simplemente limos plásticos, limos plásticos arenosos y los propiamente limos plásticos con arena.

Las rocas presentes son brechas de serpentinitas de color verde oscuro o parduzco, agrietadas, ocasionalmente las grietas aparecen rellenas de mineralización. La Capa “Serpentinitas brechosas medias”, es la mayor representada en el área y según los valores de sus propiedades es la capa de mejores condiciones para la cimentación. Todas las capas tienen características geomecánicas y físico mecánicas muy semejantes solo diferenciándose por muy poco margen.

Estas rocas por su resistencia a la compresión axial son blandas, pero como promedio son rocas muy blandas según Sowers-Sowers, pero en estado de confinamiento la resistencia a la compresión axial es considerablemente mas alta.

Las rocas presentes en el área de estudio por el grado de durezas son favorables para los trabajos de excavación o movimiento de tierra con medios mecánicos (Buldózer). Ver foto 3.1.



**Foto 3.1. Serpentinita brechosa fina y media.**

### **3.3 Relieve.**

El relieve predominante en el área de la Concesión Minera y el emplazamiento para el vial es montañoso, con una altura máxima de 229.94 m. s.n.m.m. Aparecen en el área un conjunto de formas menores que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica. Se encuentran fuertes escarpes como elementos naturales y áreas minadas con relieve antropizado.

En general se aprecia una alta rugosidad del relieve. Hacia el centro norte y Noreste se localiza un terreno elevado compuesto por una colina de cima plana asimétrica con la falda que da al Noreste más alargada y menos pendiente que la falda situada al Suroeste. Se observan una gran cantidad de taludes artificiales estando la mayor concentración en una faja estrecha orientada del SE al NW. Otras fajas de taludes artificiales son mas cortas y siguen fundamentalmente la orientación N-S. Ver foto 3.2.



**Foto 3.2 Depósitos de agua formados en las depresiones del relieve de las zonas minadas.**

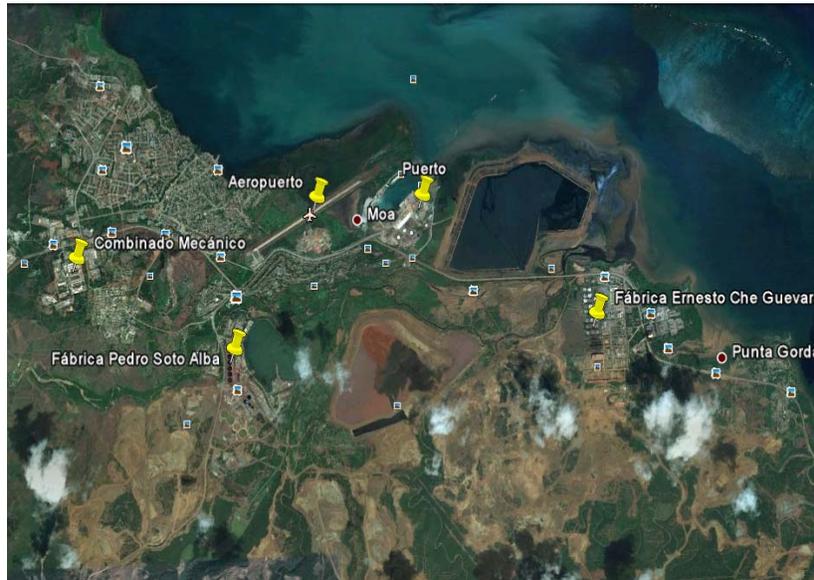
### **3.4 Clima.**

El municipio Moa presenta características climáticas muy propias, debido a su ubicación geográfica, relieve y dirección e intensidad predominante de los vientos. Estas se distinguen con claridad por las condiciones pluviométricas exclusivas del lugar, e incluso dentro del mismo territorio existen variaciones en los acumulados de precipitaciones debido a la diferencia de altitudes y la existencia de zonas a barlovento y sotavento. El régimen de temperaturas del aire es típico de la región Oriental, con un valor medio anual superior a 26° C, máximas y mínimas absolutas anuales de 36 y 12° C respectivamente.

La principal cantidad de precipitaciones cae en forma de lluvias torrenciales, predominantemente originadas por tormentas y por efecto convectivo, estas últimas ocurren debido a la elevación del aire húmedo proveniente del mar sobre el macizo montañoso Cuchillas de Moa.

### 3.5 Actividad económica de la región.

La economía de la región se basa fundamentalmente en la actividad minero-metalúrgica del níquel. Se encuentra dentro de las más desarrolladas del país desde el punto de vista industrial, debido a que cuenta con las plantas procesadoras de níquel “Comandante Pedro Soto Alba” y “Ernesto Che Guevara”. Además existen otras entidades tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, Las Camariocas, la Empresa Constructora y Reparadora de Industrias del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL). En esta región existen yacimientos de cromo refractario. La población es de 73 000 habitantes aproximadamente; cuenta con dos hospitales, un hotel, instituciones para la enseñanza primaria, media y universitaria, un aeropuerto nacional, terminal de ómnibus y un puerto. Ver foto 3.3.



**Foto 3.3 Vista en planta de los centros económicos más importantes del municipio.**

### 3.6 Vías de Comunicación.

Se destaca la carretera que une los municipios de Sagua de Tánamo, Moa y Baracoa. Existe un aeropuerto nacional y un puerto por donde entra toda la materia prima que necesita la industria, además se implementó una emisora de radio - centro de televisión.



### 3.7 Caracterización de la empresa.

La Empresa Ferroníquel Minera S.A. es una empresa mixta formada por la participación de Yamanigüey S.A. de la República de Cuba, con el 51% de las acciones y E.P.S. Minera Nacional C.A. de la República Bolivariana de Venezuela con el 49% de las acciones. La empresa mixta se crea para llevar a buen término el Proyecto Ferroníquel de Moa y lograr la producción y comercialización de ferroníquel.

El Proyecto Ferroníquel de Moa comprende dos partes fundamentales, la mina y la planta metalúrgica. Ambas se encuentran dentro de la concesión de investigación geológica Moa Occidental II, y a una distancia de unos 8 km al Sur de la ciudad de Moa.

### 3.8 Alcance del proyecto.

Se pretende establecer mediante una ingeniería de detalle, las soluciones técnicas fundamentales para realizar un vial que unirá la nueva planta de Ferroníquel con el camino principal de la mina PSA. A continuación se dan las coordenadas de los puntos de inicio y fin del camino. Ver tabla 3.1 y anexo 1.

Estacionado		Punto de Inicio		Punto Final	
Desde	Hasta	Este	Norte	Este	Norte
0+000.000	5+63.31	695433.8117	218377.3744	695699.1959	218848.2523

**Tabla 3.1**

### 3.9 Consideraciones generales.

Para la ejecución de este trabajo se han tomado como base las siguientes informaciones:

- Levantamiento topográfico en escala 1:1000 para una franja de 100 m de ancho de la zona por donde se prevé el trazado aproximado del camino. Ver anexo 1.
- Un documento emitido por el cliente, donde deja plasmado lo que desea que se haga (tarea técnica).
- Catálogo del equipamiento que transitará por el camino.



- Guía para el Diseño Preliminar y Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos Mineros en Moa Nickel S.A.; material preparado por la Knight Piésold en 1997 y suministrado por el cliente para la elaboración de este proyecto.

### 3.10 Descripción del proyecto.

El diseño y construcción de caminos es la función más importante que se debe de enfrentar para realizar cualquier trabajo de minería a cielo abierto. El buen diseño y construcción de caminos promueve la seguridad, la producción y la disponibilidad del equipamiento, lo cual es equivalente a menores costos por conceptos de roturas y mantenimientos. El ancho apropiado de los caminos, así como su peralte, superficie de rodamiento, control de las aguas superficiales con adecuados drenajes y alcantarillas, garantizan la seguridad de estos, e influyen positivamente en la productividad y eficiencia de las operaciones mineras.

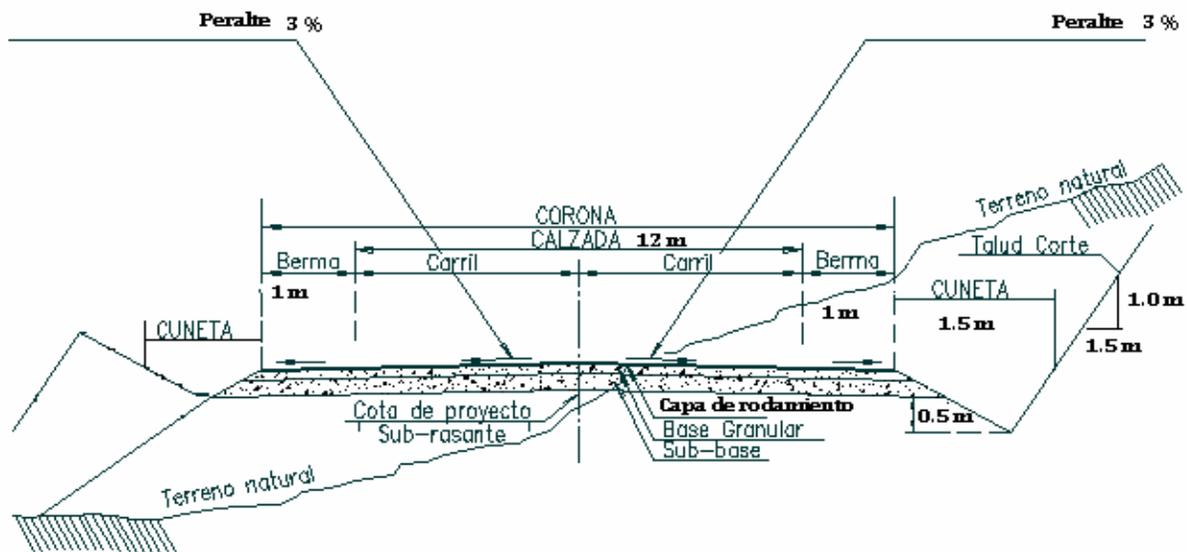
Se tomó como base el uso de los camiones de volteo de 63 tn para proponer las normas de diseño para los caminos mineros, teniendo en cuenta fundamentalmente las dimensiones, peso y pendientes a vencer.

A continuación relacionamos los criterios generales de diseño a tomar en consideración en el desarrollo de este trabajo:

- El ancho de la calzada del camino se estimó de acuerdo a las dimensiones del equipo de transporte indicado por el cliente en 12 m. Ver anexo 5.
- Peralte de 3% a ambos lados de la calzada. El peralte del camino se diseñó para una velocidad máxima de 40 Km/h.
- Pendiente longitudinal no mayor del 12%. Restringir la misma en tramos de más de 100 m donde fuera posible. Ver anexo 2 y 3.
- Berma de seguridad de 1.0m a ambos lado del camino.
- Cunetas de drenaje de forma trapezoidal, con un ancho superior de 1.5 m y 0.5 m por el fondo, una profundidad de 0.50 m. Ver anexo 5.
- La inclinación de los taludes, tanto en corte como en relleno, de 1.5H:1V.
- Se debe construir una berma de protección en las zonas de rellenos de elevada altura (mayor de 10 m). El mismo debe tener 1.0 metro de altura y 1.5 metros de ancho.

- En las zonas de corte de elevada altura (mayor de 10.0 m), se debe construir una berma de seguridad de 2 a 3 m después de la cuneta.
- Radio de curvatura es de 60.0m.
- El revestimiento del camino se hará con material rocoso, con un espesor de 0.4 m cuando se construya sobre serpentina (dos capas compactadas de 0.2 m cada una), y de 0.7 m de espesor cuando se construya sobre limonita (dos capas compactadas: una inferior de 0.5 m y otra superior de 0.2m).
- El material rocoso de préstamo para el revestimiento del camino se extraerá de la cantera con coordenadas aproximadas de: Este: 694591.860; Norte: 216556.196
- La compactación de los materiales de relleno se hará al 95% a máxima densidad del ensayo Proctor Standard Modified e índice California Bearing Ratio (CBR)  $\geq 50$  %, el cual varía según el tipo de capa.

En la figura 3.1, se puede observar una sección típica de corte y relleno. En el anexo # 5 se puede ver la sección creada por el software AutoCAD Civil 3D.



**Figura 3.1 Sección típica de corte y relleno.**



### **3.11 Situación de la obra.**

El vial comienza en un punto dentro de la concepción minera de la empresa Ferroníquel Minera SA. con coordenadas  $X = 695433.8117$ ,  $Y = 218377.3744$ , este punto denominado Est. 0+000. El camino comienza en el Est. antes mencionado y baja bordeando la ladera izquierda del camino principal de la mina de PSA y finaliza en la Est. 5+63,31 con coordenada  $X = 695699.1959$ ,  $Y = 218848.2523$ .

### **3.12 Características del terreno.**

La franja de tierra destinada para la obra, se caracteriza por ser un terreno con grandes y pequeñas prominencias y depresiones, con elevaciones entre 219.00m y 175.00m con respecto al nivel medio del mar, con restos de excavaciones de antiguas extracciones de mineral y caminos mineros en desuso.

El terreno tiene una capa vegetal entre 0.20 y 0.60 m, para un promedio de 0.30 m y en sentido general presenta un suelo laterítico de resistencia media con el manto freático a una profundidad por encima de los 5.00 m. La distancia a las canteras es de 1 a 5 km y al área de vertimiento 1 a 3 km.

### **3.13 Antecedentes.**

Actualmente el área escogida para construir el vial, esta reforestada en una parte, y el resto de la superficie esta minada por la Empresa PSA. Con vista a minimizar los costos del trasiego de producto final e insumo de la Planta Ferroníquel” se construirá el vial, como obra inducida surge el presente proyecto de vía de acceso para interconectarla al sistema de viales municipal y nacional.

### **3.14 Replanteo.**

Para el replanteo del eje y los distintos vértices y curvas del vial se utilizó el personal capacitado, con los instrumentos y medios topó-geodésicos de última generación, utilizando como puntos de salida los especificados por el cliente. En el anexo 6 se muestra el eje del vial y sus estacionado.



### **3.15 Planificación Vertical.**

Para la proyección vertical se tuvieron en cuenta los niveles de rasantes de los viales existente (intercepción con el camino para la Veguita) y los niveles de rasantes proyectado para el vial del área de la Planta Ferroniquel, que se encuentran influenciados a su vez por la topografía y los niveles tecnológicos de la misma, así como evitar grandes rellenos, dado el grado de sismicidad de la zona.

### **3.16 Sub-base.**

La sub-base usada esta constituida por el material de relleno compensado o de préstamo de buena calidad, con el espesor necesario para alcanzar los niveles de proyecto y la caja de camino excavada que reúna la calidad requerida.

### **3.17 Base.**

La base se conformará por una capa de mejoramiento (rocoso), de un espesor 0.40 m, compactada al 98% del proctor modificado según RC-3020, con un terminado de amarre final, consistente en una capa de penetración invertida de un solo riego.

### **3.18 Drenaje.**

El drenaje del vial de acceso será por escurrimiento superficial y canales (cunetas) y badenes para conducir las aguas hasta los puntos de vertimiento en el terreno.

### **3.19 Movimiento de tierra.**

Se excavará y/o se rellenará en los lugares que se señala en los planos hasta alcanzar los niveles de proyecto, acorde con las normas constructivas y las especificaciones hechas en los planos.

### **3.20 Excavación.**

Las excavaciones se ejecutaran con el cuidado necesario para que no alteraran la estabilidad del terreno, de tal manera que mantenga el drenaje necesario y adecuado en todas las partes de la obra durante el proceso de construcción, para lo cual se construirán zanjas interceptoras de desagüe siempre y cuando se necesite.



Los desprendimientos que se produzcan en los taludes de cortes deben ser retirados ya que éstos deben quedar con la superficie limpia y perfilada. Estos materiales se usaran para el relleno siempre y cuando posean las cualidades exigidas.

### **3.21 Terraplén.**

Se emplearan materiales de mejoramiento con la calidad requerida, recreciéndose en capas no mayores de 0.25 m. El riego del agua se ejecutara por medios mecánicos y de forma tal que garanticen una compactación del 98% del proctor modificado; se utilizaran para la consolidación del terreno compactadores vibratorio de 12 a 14 t.

Las explanaciones deben quedar bien perfiladas, respetándose las alineaciones, rasantes y dimensiones de los planos, perfiles longitudinales y secciones transversales. Cumpliendo con lo establecido en las normas, NC 52-16 y NC 52-17.

### **3.22 Descripción del camino.**

El vial cumple con los parámetros exigidos en la tarea técnica emitida por el cliente para la operación de los equipos mineros, los cuales garantizan la capacidad portante, drenaje, perdurabilidad y seguridad. A continuación se describen algunas características de este camino:

- Comienza en las coordenadas (X: 695433.8117 y Y: 218377.3744) y termina en las coordenadas (X: 695699.1959 y Y: 218848.2523). Ver anexo 1.
- La máxima pendiente alcanzada es de 10.05%, ver anexo 3 (perfil de la rasante).
- Longitud total del tramo: 563.307m.
- Volumen total a mover  $3817.09\text{m}^3$ , de ellos  $967.68\text{m}^3$  de relleno y  $2849.41\text{m}^3$  de corte. Ver anexo 7.
- Los radios de curvatura se encuentran dentro de lo establecido, el máximo es de 180.0m y el mínimo es de 50.0m.

Las secciones transversales del tramo se pueden observar en el anexo 4.

### 3.23 Movimiento de tierra

Uno de los aspectos de mayor influencia, en el presupuesto de un camino es el movimiento de tierra, el cual se define como el trabajo comprendido en la construcción y conformación de la subrasante sobre la cual se ha de construir la capa de rodamiento.

El volumen se determina en dependencia de los metros cúbicos de corte y relleno necesarios para lograr en el terreno la rasante del proyecto; ver tabla 3.2.

	<b>Longitud (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>		
		<b>Relleno</b>	<b>Corte</b>	<b>Total a mover</b>
<b>Camino minero</b>	563.307	967.68	2849.41	3817.09

**Tabla 3.2. Resumen del volumen de movimiento de tierra.**

### 3.24 Estabilidad de los taludes del camino minero.

Para determinar la estabilidad del camino minero de Ferroníquel lo primero que se realizó fue una caracterización de toda el área del camino. Ver tabla 3.3.

<b>Afectación</b>	<b>Observaciones</b>
Camino (0+004.94)	Ambos lados del camino
Camino (0+015.21)	Ambos lados del camino
Zanja (4+10.00)	Ambos lados del camino
Cárcava (4+50.00)	Ambos lados del camino
Cárcava (5+40.00)	Ambos lado del camino

**Tabla 3.3 Caracterización de las afectaciones en todo el tramo del camino minero.**

Se realizó un análisis a todo el vial con sus secciones transversales y se llegó a la conclusión que el ángulo de inclinación del talud (1.5:1) es el idóneo pues tiene en cuenta el ángulo de



reposo natural del terreno, además de conocer que el relieve es abrupto sustentado por rocas serpentinizadas, con buen escurrimiento superficial, sin presencia de capas de material blando.

Se le hizo un estudio al vial con sus secciones transversales de acuerdo a la literatura del Manual de Ingeniería de Taludes del Instituto Tecnológico GeoMinero de España y la empresa Estudios y Proyectos Técnicos Industriales, teniendo en cuenta la altura del talud en algunas secciones transversales, caracterizándola de acuerdo a las condiciones geomecánicas. Ver tabla 3.4.

<u>Altura del talud (m)</u>	<u>Riesgo</u>
0 – 4	Bajo
4 – 8	Mediano
8 – 12	Elevado
12 – 16	Muy elevado

**Tabla 3.4 Altura de riesgo de los taludes.**

Los taludes deben tener una altura máxima de 5m con un descanso o berma de 3m para lograr una buena estabilidad, siempre manteniendo el ángulo de inclinación de 1.5H: 1V y realizarle protección vegetal para lograr mitigar el escurrimiento superficial ya que mantener una cubierta vegetal en los taludes proyectado produce efectos beneficiosos, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial, tanto eólica como hídrica, que pueden evitar a la larga la inestabilidad del talud.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas producen un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas producen un aumento de la resistencia a esfuerzos cortante en la zona de suelo que ocupan. La resistencia de un suelo con raíces puede ser del



orden de 2.5 veces la del mismo suelo sin ellas, lo cual ha de tomarse como un valor meramente indicado.

### **3.25 Capacidad portante.**

El revestimiento del camino se hará con material rocoso, con un espesor de 0.4m cuando se construya sobre serpentina (dos capas compactadas de 0.2 m cada una), y de 0.7 m de espesor cuando se construya sobre limonita (dos capas compactadas: una inferior de 0.5 m y otra superior de 0.2m).

La evaluación de los requerimientos del tráfico de carga, realizada por Knight Piesold, fue hecha sobre la base del camión EUCLID R60 recomendado para el estudio. Estos camiones tienen una masa neta vacío de 38.7 tn y 96.0 tn cuando está totalmente cargado. Los camiones tienen tracción 6x6, dos delanteras y 4 traseras (2 ruedas dobles en un eje simple). Cuando el camión está vacío el 51 % de la carga está distribuido sobre el eje trasero y 68.0 % cuando está cargado. El espacio de centro a centro de las ruedas es de 3.56 m en el eje delantero y 2.92 m en el eje trasero.

El tráfico de carga sobre el pavimento fue determinado usando el método propuesto por Scala y Potter (1981) el cual predice los Factores de Equivalencia de Carga (LEF, siglas en inglés) para vehículos especializados.

Basado en este método el LEFv para los camiones EUCLID R60 se estima en 61 vacío. El tráfico de carga para la vida del camino se calcula multiplicando el LEFv por el número esperado de vehículos que circularán en una dirección durante la vida del camino. Este valor está referido como el número total de Ejes Standard Equivalentes en una dirección, y es usado para determinar el espesor de la capa de rodamiento.

Para estos parámetros calculados y teniendo en cuenta el tipo de material a usar para la conformación de la capa de rodamiento se recomendaron las siguientes especificaciones de calidad para garantizar la capacidad portante del camino. Ver tabla 3.5.



Capas	Material	Plasticidad		California Bearing Ratio (CBR)	Colocación de capas	Compactación
		Límite de líquido	Índice de plasticidad			
Capa de rodamiento	Serpentina	Menos de 25	1 a 6	Mayor de 80%	Máximo espesor después de compactado 0.20m	Mínima 95% del Proctor Standard Modified
Base granular	Serpentina/ Laterita	Menos de 30	1 a 8	Mayor de 50%	Máximo espesor después de compactado 0.35m	Mínima 95% del Proctor Standard Modified
Sub- base	Limonita/ Laterita/ Serpentina	-	-	-	Reconformar y secar al natural	Mínima 90% del Proctor Standard Modified
Terreno Natural	Laterita/ Serpentina	-	-	-	Máximo espesor después de compactado 0.35m	Mínima 90% del Proctor Standard Modified

**Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de la compactación.**



El tipo de camión base para este proyecto es el KOMATSU HD605-7, el cual presenta características similares al EUCLID R60 usado como base para los cálculos de carga de tráfico, debido a esto se asume que las especificaciones técnicas propuestas garantizarán un camino de excelente calidad y capacidad portante. El control de calidad es esencial para garantizar la durabilidad de la vía.

Para el control de la calidad se tomarán muestras de los materiales usados en la obra y se realizarán las pruebas que se consideren necesarias para asegurar que los materiales que se están usando cumplan los requerimientos.

A partir del California Bearing Ratio (CBR) que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad, controlándola se puede determinar la carga unitaria que deben soportar las capas después de la compactación del camino:

- Para un CBR de un 80% en la capa de rodamiento la carga unitaria a soportar es 56Kg/cm<sup>2</sup>.
- Para un CBR de un 50% en la base granular la carga unitaria a soportar es de 35Kg/cm<sup>2</sup>.

Este ensayo establece la relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como capa de rodamiento y la capa de base granular, en la tabla 3.6 se muestra la clasificación general del terreno.

<b>CBR</b>	<b>Clasificación general</b>
0 - 3	Muy pobre
3 – 7	De pobre a regular
7 – 20	Regular
20 – 50	Bueno
≥ 50	Excelente

**Tabla3.6 Clasificación del terreno según el CBR.**



De esto se deduce que el terreno donde se diseñó el vial tiene excelentes condiciones para soportar las presiones que se ejerzan sobre el camino.

En el anexo 8 se muestra una vista en planta de toda el área del camino.

### **3.27 Normas cubanas a utilizar en el proyecto.**

A partir de los años 80, el Estado cubano dictaminó la realización del Sistema de Normas Cubanas dirigidas en el orden geográfico, al óptimo ordenamiento territorial del país en consonancia con el necesario equilibrio entre el uso racional de los recursos naturales, la protección y conservación de la naturaleza y la calidad del hábitat humano.

Normas cubanas a utilizar en el proyecto:

- NC: 26. 2007. Ruidos en zonas habitables. Requisitos higiénicos sanitarios.
- NC: 28. 1999. Calidad del suelo. Clasificación de las tierras afectadas para la restauración.
- NC: 29.1999. Calidad del suelo. Restauración de las tierras. Términos y definiciones.
- NC: 30.1999. Calidad del suelo. Tierras alteradas. Requisitos generales para la restauración.
- NC: 31.1999. Calidad del suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de tierra.
- NC: 36.1999. Calidad del suelo. Método para la determinación de la erosión potencial de los suelos.
- NC: 39-1999. Calidad del Aire. Requisitos Higiénico – Sanitarios. (Obligatoria).
- NC: 93-04-101 1987. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Tierras. clasificación según el uso.
- NC: 93-06-101:1987. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Paisaje. Términos y definiciones.
- NC: 93-04-103.1987 Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Tierras. Términos y definiciones.
- NC: 93-05-202.1988. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Bosques y áreas colindantes. Medidas de prevención contra incendios forestales antes del período crítico.



### 3.28 Evaluación de los impactos producidos por la investigación.

Los resultados obtenidos para el caso estudiado, demuestra la factibilidad técnico-económicos de utilizar el procedimiento de “Diseño Geométrico de Caminos Mineros con el Software AutoCAD Civil 3D”, con respecto al uso de los procedimientos tradicionales; dando valor agregado en el orden cualitativo y cuantitativo al diseño de caminos mineros.

Los impactos más significativos se relacionan a continuación:

**Científico:** La creación de un procedimiento más racional, que permite el perfeccionamiento del diseño de viales.

**Tecnológico:** Con la aplicación de la tecnología CAD se logra una mayor integración entre varias disciplinas durante el análisis integrado del diseño de un vial, para así dar las mejores soluciones a los proyectos.

**Metodológico:** Se propone un nuevo procedimiento para el diseño de caminos mineros, a partir del uso de las nuevas tecnologías.

**Social:** Mayor seguridad en los conductores al disminuir las probabilidades de accidentes por defectos en el diseño de los caminos.

**Económico:** La utilización del procedimiento que se propone, permitió disminuir el tiempo, los errores y los costos de diseño del vial.

**Medio ambiental:** Durante la ejecución del vial se tomaran las medidas necesarias para la protección del medio, no permitiéndose arrojar o acumular materiales y/o equipos fuera de los lugares asignados por la administración del gobierno local y/o el cliente. Una vez terminada las obras se deben retirar los restos de materiales sobrantes, desperdicios, equipos, obras auxiliares etc, y se rehabilitará el área, de forma tal que mantenga la estética y armonía del paisaje.



## **Conclusiones del capítulo.**

A partir del análisis integrado del diseño del camino en el área seleccionada se pudo comprobar:

1. La efectividad del procedimiento propuesto.



## **Conclusiones del capítulo.**

A partir del análisis integrado del diseño del camino en el área seleccionada se pudo comprobar:

1. La efectividad del procedimiento propuesto.



## Conclusiones generales.

1. Se elaboró un procedimiento integral que permite incorporar nuevos métodos para diseñar caminos mineros para las empresas de proyectos, demostrando su factibilidad en trabajos realizados en las minas del nordeste holguinero.
2. La aplicación del procedimiento propuesto permitió tomar decisiones concretas con respecto al diseño del vial de la nueva planta de ferroníquel.
3. Se demostró con el procedimiento la elevada precisión en el diseño de viales con AutoCAD Civil 3D, además de la considerable disminución en el costo por concepto de errores técnicos.



## Recomendaciones.

1. Generalizar el procedimiento propuesto, de diseño de caminos a otras ramas, tales como, autopistas, carreteras urbanas, etc.
2. Crear un procedimiento para el diseño de plataformas, escombreras y proyectos de rehabilitación minera con software AutoCAD Civil 3D para ser usada en la empresa Ceproniquel.
3. Incluir en los programas de estudios, de pregrado y postgrado el diseño de caminos con el empleo del software AutoCAD Civil 3D.



---

## Bibliografía.

- 1- BAHAMONDES, N. A.; BAHAMONDES, J. A. C. 2001. Mejoramiento de caminos de acceso minería escondida. [en línea]. Trabajo de Diploma. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería Geográfica. [Consultado: 20110209]. Disponible en: <http://www.ucm.es/BUCM/tesis/ghi/ucm-t25567.pdf>
- 2- BELETE ORLANDO F.s.a Manual de topografía. En editora
- 3- BENITEZ OLMEDO, R. 1989. Proyecto de Carreteras. La Habana: EMPES.
- 4- COLECTIVO DE AUTORES, 1986. Trazado de Vías. La Habana: ISPJAE
- 5- BLAZQUEZ, L. B.; GARCIA, J. F. B. [s.a.]. Manual de carreteras, elementos y proyecto 1. [en línea]. [Consultado: 20110228]. Disponible en: <http://biblioteca.ismm.edu.cu/wwwisis/BVIRTUAL/Mineria/libros/manualdecarreteras.pdf>
- 6- BLAZQUEZ, L. B.; GARCIA, J. F. B. [s.a.]. Manual de carreteras, Construcción y Mantenimiento 2. [en línea]. [Consultado: 20110228]. Disponible en: <http://biblioteca.ismm.edu.cu/wwwisis/BVIRTUAL/Mineria/libros/manualdecarreteras.pdf>
- 7- CARRIZO, Matías. Diario de Cayo, 20 de Marzo 2008. [en línea]. [Consultado: 20110128]. Disponible en: <http://www.diariodecayo.com.ar/home/new-noticia.php?noticia-id¿;j-271986>
- 8- DINZA; SANIT; IZQUIERDO; LAMA. 1983. Trazado de vías. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- 9- HERNANDEZ, S. P; ALMANZA, R. P.1999. Transporte minero. La Habana: Editorial Félix Varela, 1999
- 10- Trazado de obras lineales. [en línea]. [Consultado: 20110228]. Disponible en: <http://www.trazado.com./publico>
- 11- NAVARRO HUDIEL, Sergio J. 2008. Topografía-Curvas Verticales. [en línea]. [Consultado: 20110412]. Disponible en: <http://www.sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/viii-curvas-verticales.pdf>



- 12- PAKA, Nemganga P. S. 2006 Proyección de carretera por método automatizado (Autocad Land) . Trabajo de Diploma. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana.
- 13- PROYECTO EXPLOTACION ROSARIO SUR I Y II. Declaración de impacto ambiental. [en línea]. [Consultado: 20110209]. Disponible en: [http://www.google.com/cu/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CUBUQFjAA&url=http%3A%2F%2Fseia.sea.gob.cl%2Fexpediente%2Fexpediente.php%3Fid\\_expediente%3D5091972%26modo%3Dficha&rct=j&q=PROYECTO%20EXPLOTACION%20ROSARIO%20SUR%20I%20Y%20II%2C%20Declaraci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental.&ei=z1HqTegKKYf50gG7reSzAQ&usq=AFQjCNEalsNHQyGpVbpUYGFZs50mBBe1WA&cad=rja](http://www.google.com/cu/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CUBUQFjAA&url=http%3A%2F%2Fseia.sea.gob.cl%2Fexpediente%2Fexpediente.php%3Fid_expediente%3D5091972%26modo%3Dficha&rct=j&q=PROYECTO%20EXPLOTACION%20ROSARIO%20SUR%20I%20Y%20II%2C%20Declaraci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental.&ei=z1HqTegKKYf50gG7reSzAQ&usq=AFQjCNEalsNHQyGpVbpUYGFZs50mBBe1WA&cad=rja)
- 14- ROS, Neus. 2009. Proyecto de ingeniería civil con AutoCAD 3D 2009. Valencia: Aplicad Valencia, 2009. 156 p.
- 15- RUBEKA, Jean. 1998. Trazado de una carretera de montaña empleando un Modelo Digital del Terreno y las Computadoras. Trabajo de Diploma, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana, 1998.
- 16- THOMPSON, Roger 2009. Consideraciones para el diseño. [en línea]. [Consultado: 20110210]. Disponible en: <http://www.mining-media.com>.
- 17- Tutoriales AutoCAD Civil 2009, 2010. US: Autodesk
- 18- UNIVERSIDAD DE BURGOS. Caminos mineros de Juarros y la demanda. [en línea]. [Consultado: 20110210]. Disponible en: <http://www.ubu.es/es/serviciodeportes/informacion/rutas-btt-gps/5-caminos-mineros-juarros-demanda/>
- 19- Manual de Ingeniería de Taludes del Instituto Tecnológico Geo Minero de España y la empresa Estudios y Proyectos Técnicos Industriales.
- 20- Guía de Knight Piésold para el Diseño y Construcción de Caminos Mineros en Moa Nickel S.A.



---

## Acrónimos.

MDT	Modelo digita del terreno.
SE	Sur-oeste.
NW	Noroeste.
s.n.m.m	Sobre el nivel medio del mar.
m	Metro.
Ceproníquel	Centro de Ingeniería y Proyecto del Níquel.
LEF	Método propuesto por Scala y Potter (1981) el cual predice los Factores de Equivalencia de Carga.
H	Inclinación del ángulo horizontal del talud.
V	Inclinación del ángulo vertical del talud.
CBR	California Bearing Ratio, es un método que se usa para medir resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad.
tn	Toneladas.
NC	Normas cubanas.
CAD	Diseños asistidos por computadoras, más conocido por sus siglas en ingles.
Est.	Estacionados.
PSA	Pedro Soto Alba (nombre de una fábrica).