

– CAPITULO II –
GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE LOS PAVIMENTOS

II.1.-DEFINICION Y CLASIFICACION DE PAVIMENTOS:

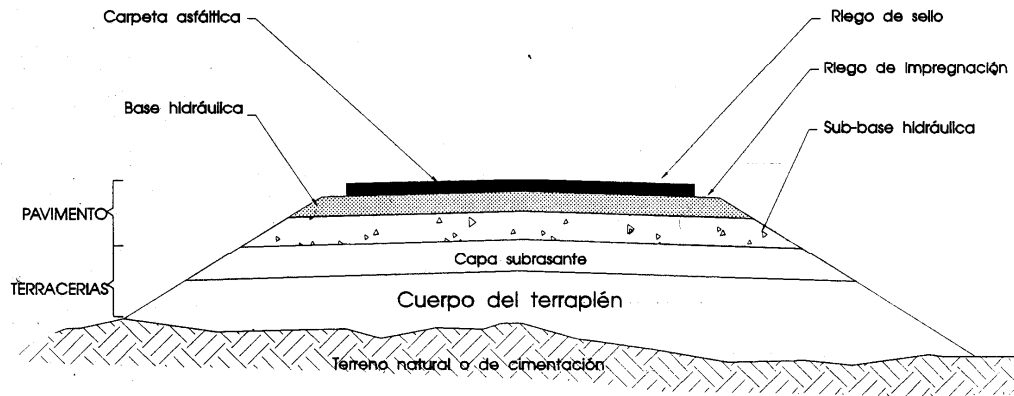
Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías (subrasante) y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales; así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

La clasificación de pavimentos está sujeta a las limitaciones inherentes a las técnicas de clasificación. Históricamente, los pavimentos han sido divididos en dos categorías: (1)Flexibles y (2)Rígidos.

- *Pavimentos Flexibles*: Consisten de una superficie de desgaste o carpeta relativamente delgada construida sobre unas capas (Base y Sub-Base), apoyándose este conjunto sobre la subrasante compactada, de manera que la sub-base, base y superficie de desgaste ó carpeta son las componentes estructurales de este tipo de pavimento(Ver figura 2.1).
- *Pavimentos Rígidos*: Consisten en una losa de concreto hidráulico y pueden o no tener una capa sub-base entre la losa y la subrasante (Ver figura 2.1).

A parte de los tipos de pavimentos ya citados existe actualmente el llamado semirígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se le ha dado una rigidez alta por la adición de cemento o asfalto.

Camino con estructura de pavimento flexible



Camino con estructura de pavimento rígido

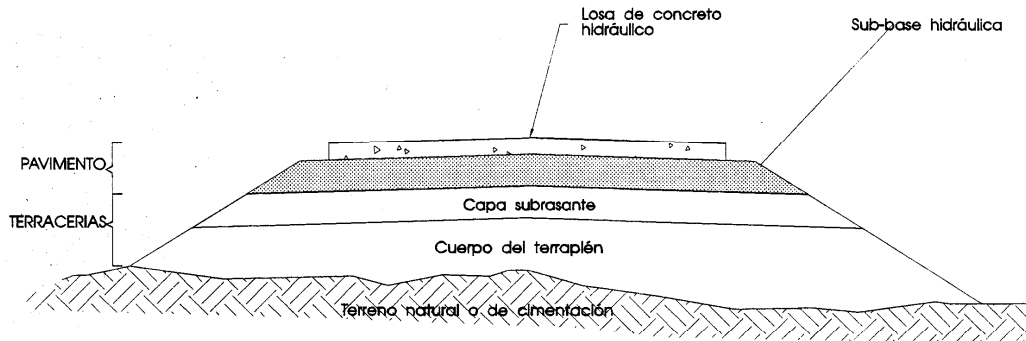


Figura 2.1

De lo anterior se desprende que, en general, un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es, principalmente por la mayor intensidad de los esfuerzos que le son transmitidos.

Algunos autores consideran que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de como se estructuran esos materiales (Ref. 1). Mientras que otros consideran que la diferencia esencial es la manera en que distribuyen las cargas sobre la subrasante (Ref. 2).

II.2.- ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMIENTOS FLEXIBLES.

A continuación con base en la fig.2.1 se describe la estructuración de un pavimento flexible incluyendo aquellas capas que no forman parte del pavimento estrictamente pero que forman parte de la sección de un camino y que trabajan en conjunto con las capas suprayacentes.

La fig.2.1 muestra la estructuración típica de una sección en terraplén.

Bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente, por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una base, de material granular y una sub-base, formada preferentemente, también por suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poder admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a granulometría; la razón es el mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por lo que llegan esfuerzos de menor intensidad.

Bajo la sub-base se presenta casi por lo general otra capa denominada subrasante, todavía con menos requisitos de calidad mínima que la sub-base, por la misma razón, pero cuyo fundamental papel mecánico se discute cada vez menos.

Finalmente, bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería ó terreno natural, tratado mecánicamente en lo referente a compactación.

II.2.1- FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO Y TERRACERIAS.

1).- Terracerías:

♦ *Terreno Natural ó de Cimentación:* Se puede definir como la franja de terreno que es afectada por la construcción del camino y que su función es la de soportar las cargas de la estructura del pavimento y de las terracerías sin olvidar las cargas del tránsito.

♦ *Cuerpo del terraplén:* Esta será utilizada únicamente en porciones de camino con terraplén, sus función principal es la de dar la altura necesaria para alojar las obras de drenaje.

♦ *Capa Subrasante:* Tiene múltiples funciones como la de recibir y resistir las cargas del tránsito transmitidas por la capa de pavimento y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores; además:

1. Evitar que se contaminen las capas del pavimento cuando el cuerpo del terraplén o el terreno natural sea de material fino o arcilloso.
2. Evitar que sean absorbidas las capas superiores cuando se tienen pedraplenes.

3. Evitar que se reflejen las imperfecciones en los cortes hacia las capas de pavimento para lograr espesores de pavimentos constantes.

2).- Pavimento Flexible:

♦ *Sub-Base:* Para muchos, una de las principales funciones de esta capa en un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirse en parte por una sub-base de menor calidad, aún cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues, naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Sus funciones son la de resistir las cargas de tránsito y transmitir las adecuadamente a las terracerías.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular más o menos grueso y la propia subrasante. La sub-base, más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Otra función de esta capa es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre a través de las capas superiores, y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería.

♦ *Base*: Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la comentada para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta que viene a ser la capa más costosa. Pero la función fundamental de esta capa consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

♦ *Carpeta*: La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico hasta donde sea posible ya que estará en contacto directo con él; además debe impedir hasta cierta medida el paso del agua a las capas inferiores.

3).- Pavimento Rígido:

♦ *Sub-Base*: Sus funciones son análogas a la misma en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella. En este caso, la Sub-Base no tiene ningún fin estructural pues la losa debe ser suficiente para soportar las cargas.

♦ *Losa*: Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado las cargas que se le apliquen.

II.3.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS

FLEXIBLES:

Considerando a un pavimento flexible como un conjunto, se tienen que tomar en cuenta para su diseño, no importando el método, los siguientes factores:

- 1) *La Resistencia Estructural.*
- 2) *La Deformabilidad.*
- 3) *La Durabilidad.*
- 4) *El Costo.*
- 5) *Los Requerimientos de Conservación.*
- 6) *La Comodidad.*

1) *La Resistencia Estructural:* La metodología teórica para el análisis de la resistencia de un pavimento es proporcionada por la mecánica de suelos y es sabido, que en ese campo, las teorías de falla de mayor aceptación por hoy son las de el esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los mismos esfuerzos como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

Las teorías de capacidad de carga de la mecánica de suelos suelen referirse a medios homogéneos e isótropos; la heterogeneidad de la estructura de los pavimentos flexibles, así como su anisotropía, conducen a una primera incertidumbre en el planteamiento teórico de resistencia.

Además de los esfuerzos cortantes actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área

cargada, cuando esta se deforma verticalmente hacia abajo. De hecho, el problema de la resistencia plantea en general en relación con la estructura de los materiales del pavimento, pues aunque los materiales de la terracería sean de peor calidad, el espesor protector que el propio pavimento representa hace que los esfuerzos que llegan a aquellos niveles alcancen valores inferiores a la carga requerida para la falla de los suelos.

La determinación de la resistencia de los materiales que constituyen un pavimento es un problema difícil y no resuelto satisfactoriamente, influye en el no solo el tipo de suelo y su tratamiento, si no también su interacción con los efectos de la intemperie, de los que la variación del contenido de agua es seguramente el más importante. Este contenido es necesario para el proyecto, que suele tender a definir la resistencia en esa condición crítica. Esta es otra de las incertidumbres básicas de diseño, que se ha resuelto a base de hipótesis más o menos justificadas por la experiencia, como considerar que el suelo llegará a saturarse, adquirirá una humedad de equilibrio, mantendrá la humedad óptima de compactación u otra próxima a ella.

Otro factor que influye substancialmente en la resistencia de los materiales es el tipo de carga que se les aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos de estas son menos conocidos y diferentes que los de las cargas estáticas; esto es otra fuente de incertidumbre que se ha tratado de resolver en los análisis teóricos (*Boussinesq, Burmister, etc.*), admitiendo que las cargas actuales son de tipo estático. En las pruebas de laboratorio y en los métodos de diseño en ellas fundados, la situación es un poco más realista, pues si bien las pruebas se realizan con cargas estáticas o con velocidades de aplicación muy lentas, su correlación para la obtención de normas de criterio se hace con el comportamiento real de los pavimentos bajo cargas móviles.

En resumen, la resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista:

a).-En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

b).-En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

Ambos puntos son de primordial importancia en la selección de los materiales que deben constituir las diferentes capas de pavimento.

2) *La Deformabilidad:* En los pavimentos las deformaciones interesan como es usual en la Ingeniería, desde dos puntos de vista: Por un lado, por que las deformaciones excesivas están asociadas a estado de falla y, por otro lado, por que es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las Cargas de el tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y las plásticas que son aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante y los materiales susceptibles.

Bajo carga móvil y repetida la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles.

Existe hoy una fuerte corriente de opinión en el sentido de que la deformabilidad de los pavimentos flexibles es un punto básico a considerar y, de hecho un buen número de métodos de diseño se centran en mantenerla en límites tolerables. El señalar estos límites se basa en normas de experiencia de grupos de Ingenieros.

Otro problema importante radica en medir la deformación que el pavimento va a sufrir realmente bajo la carga. Este problema debe considerarse en dos fases.

Primero, la estimación de las deformaciones elásticas, que es posible hacer con razonable precisión una vez conocidos los materiales que constituirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen (pruebas de placa) y que pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas.

La segunda base del problema de medición de deformaciones se refiere a las plásticas, efecto acumulativo de la carga repetida. Este aspecto se ha atacado con criterios puramente empíricos cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño requiere de extrapolaciones experimentales; por ejemplo la diversidad de las cargas se refiere a una carga única, llamada estándar, resultado de estudios estadísticos en tramos experimentales ó carreteros, sometidos a la acción del tránsito real ó clasificado. Se intenta que la carga estándar, tome en cuenta el efecto de la repetición, pues al definirla se ha correlacionado su propio efecto destructivo con el que causarían las cargas reales de sus repeticiones respectivas. Una vez fijado el tránsito "de análisis", lo que suele hacerse actualmente en todos los métodos de diseño que toman en cuenta estas cuestiones es prefijar con base experimental, una deformación permanente máxima y el pavimento de diseño de manera que ésta se presente únicamente al fin de la vida útil prevista.

Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible; o bien se habla de la que produce la falla del camino, atendiendo por ésta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (criterio AASHO ó de índice de servicio) o bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica (criterio británico).

3) *La Durabilidad:* La durabilidad está ligada con una serie de factores económicos y sociales del propio camino.

En un camino de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporcionan la duración deseada en el pavimento, surgen muchas incertidumbres de carácter práctico para lograrla; ya se ha mencionado que el efecto del clima y del tránsito dista de estar bien establecido, de manera que su influencia en la vida de el pavimento no puede definirse con exactitud.

Consecuentemente, los autores no conocen ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo, racional e independiente del sentimiento particular.

4) *El costo:* Como toda estructura ingenieril un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general por un lado y el costo, por otro. Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo. Naturalmente para lograr el equilibrio podrán seguirse una gran

cantidad de posibles líneas de conducta y de aquí emana uno de los aspectos de diseño más inciertos y de los que demandan mayor criterio.

De hecho la primera disyuntiva se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles ó semirígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente. En general, los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa. Los semirígidos pueden constituir soluciones económicas cuando los materiales de que se dispone para la construcción los hacen convenientes, pues permiten muy apreciables reducciones en los espesores. No hay reglas fijas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso y el punto deberá establecerse en cada situación en particular.

Elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que intervendrán en su estructura. Es posible que estos se ofrezcan en abundancia y que el problema estriba en establecer su selección idónea, pero también es posible que carezcan a tal grado que obliguen al proyecto del pavimento en su conjunto a adaptarse a los que existan.

Otro de los factores que intervienen en forma decisiva en los costos de un pavimento y para cuya definición no existen tampoco reglas fijas confiables en lo relativo a las normas de construcción que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con los requerimientos de un proyecto determinado, es la compactación, ya que, incluye un gran número de incertidumbres importantes que han de resolverse sobre la marcha en base a la experiencia y el sentido común de los proyectistas y constructores.

5) *Los requerimientos de conservación:* Una gran cantidad de incertidumbres de las que se plantean en la práctica de los pavimentos tiene que ver con su conservación. Los factores que influyen decisivamente en la vida de los pavimentos y que el proyecto ha de tomarlos en cuenta para su previsión, a fin de dejar a la conservación una tarea razonable son los siguientes:

Los factores climáticos, La intensidad del tránsito; se trata de prever el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de vehículos circulantes.

El futuro comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, saturaciones locales, etc.

Las condiciones de drenaje y subdrenaje de la vía terrestre. El proyecto de estos elementos debe considerarse en muchas ocasiones como formando parte del diseño del pavimento, pues forma con él un todo integral inseparable.

La degradación estructural de los materiales constituidos por carga repetida, ya mencionado es otro aspecto importante a reflejarse en los requerimientos de conservación. Aunque existen en la actualidad algunas pruebas orientadoras en relación al comportamiento de los materiales a este respecto, son muchas las dudas que podrán presentarse en cualquier caso particular; es fundamental que sean resueltas con buen juicio y experiencia, pues es un hecho comprobado que los descuidos en este terreno se reflejan rápidamente en una conservación costosa y aún en la necesidad de reconstrucciones.

6). *La comodidad:* Los problemas y los métodos de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto especialmente en grandes autopistas y caminos de primer orden. Evidentemente dentro de este requisito quedan incluidos otros muchos, de los que la seguridad es el más importante;

la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor merece también consideración.

Las deformaciones longitudinales de un pavimento, por ejemplo, pueden constituir un atentado contra la comodidad, independientemente de que desde un punto de vista estrictamente mecánico, representen poco o nada de deficiencia estructural o riesgo de falla. En caminos de especificaciones altas, el proyectista deberá elevar su nivel de exigencia, haciendo intervenir en su criterio consideraciones de esta índole, que no figuran en otros caminos más modestos, en que menores velocidades de operación o intensidad de tránsito hacen estos problemas menos críticos.

II.4.-COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS DE CARRETERAS Y AEROPUERTOS:

La forma como trabajan los pavimentos para carreteras y aeropuertos difiere en gran parte. Los pavimentos flexibles para carreteras presentan grandes desperfectos en sus orillas, lo cual no ocurre en los correspondientes para aeropuerto. Los principales factores que deben considerarse en el proyecto de pavimentos para carreteras y aeropuertos son los mismos; sin embargo, las diferencias se presentan al considerar los valores cuantitativos asignados a cada factor. El peso total de un avión es generalmente mayor que el de un camión, pero el número de repeticiones de cargas es mucho mayor en carreteras que en aeropuertos. La carga de proyecto para una carretera con un T.D.P.A. elevado generalmente es del orden de 9,000 lbs (4,086 kg.) en ruedas dobles (sistema dual), y el número de repeticiones esperadas puede ser de 1,000 a 8,000 vehículos por día. en cambio un avión pesado puede tener cargas por rueda mayores que 100,000 lbs (47.50 Ton.) pero solamente pueden considerarse de 20,000 a 40,000 cubrimientos para la vida útil del pavimento. En el caso de aeropistas es actualmente más utilizado el concepto de cubrimiento que el de

repetición. Un cubrimiento es el número de pasadas de una rueda que es preciso efectuar para cubrir por completo el tercio central de la pista con trayectorias paralelas contiguas.

La presión de inflado de las llantas de un Jet puede ser tan alta como 200 psi(14.06 kg./cm.²), mientras que para las llantas convencionales de camión son el orden de las 60 a 110 psi(4.22 - 7.74 kg./cm.²). La circulación del tránsito en carreteras se efectúa de tal manera que todos los camiones circulan a de 0.50 a 1.00 mts del borde del pavimento. En contraste, el tráfico en la aeropista es tal que se concentra principalmente en el centro de la misma. En general el tránsito en una aeropista se distribuye sobre unos 20.00 mts. centrales del pavimento.

La geometría del pavimento es extremadamente importante. Las fallas más severas en un pavimento de aeropuerto ocurren donde el tránsito sigue una trayectoria determinada en las plataformas calles de rodaje y cabeceras de las pistas. Las fallas más leves generalmente ocurren en la porción central de las pistas, razón por la cual los espesores varían en las diferentes porciones mencionadas. Con respecto a las carreteras, los espesores generalmente se conservan constantes.

De lo anterior mencionado, puede verse que las diferencias principales entre los pavimentos para carreteras y aeropuertos son las repeticiones de carga, la distribución del tránsito y la geometría del pavimento. A su vez, cada uno de los aspectos anteriores se ve afectado por el ancho del pavimento y tipo de aeronave y/o vehículo.

El espesor del pavimento para los casos de aeropistas y caminos por regla no serán siempre uno más grueso que otro; en lo expuesto anteriormente dependerá del tráfico, la clasificación del mismo para cada caso y presiones de inflado en los neumáticos, independientemente que una aeronave sea de mayor peso que un vehículo carretero.

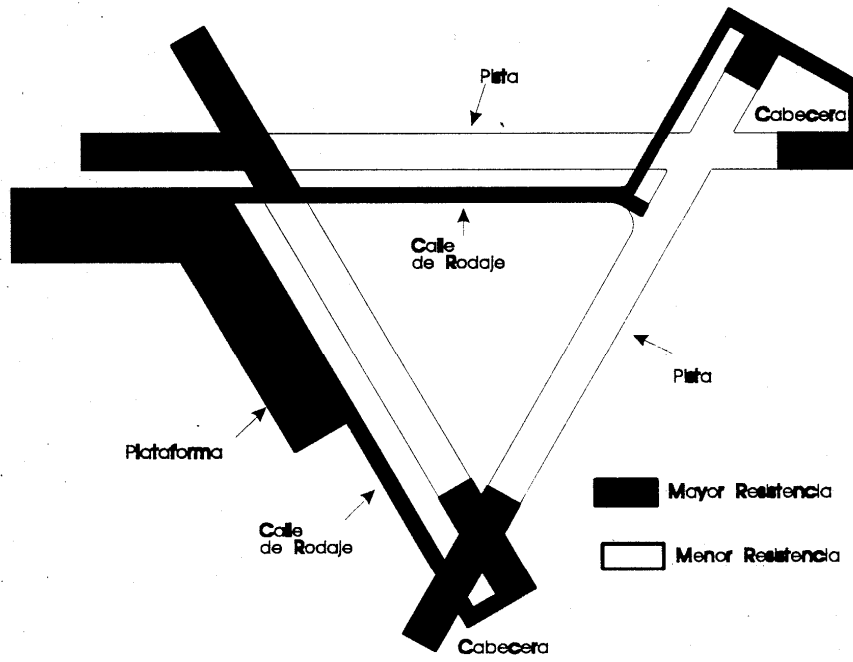


Fig. 2.2