

**Universidad Nacional de Córdoba**

**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**  
**Ingeniería Civil**

# **Construcción Pavimento urbano**

Barrio Valle Cercano – Córdoba

**INFORME TÉCNICO FINAL – PRÁCTICA SUPERVISADA**

**Leonardo Ricca**

Autor

**Ing. Civil Gustavo Daniel Vanoli**

Tutor Docente

**Ing. Civil Darío Marcos Sestopal**

Asesor Externo

**Córdoba, Agosto 2013**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Omar y Amelia, por darme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios universitarios, con un apoyo constante y facilitándome todos los recursos necesarios.

A mis hermanos; Maximiliano, Sebastián y Ezequiel, por su incondicional ayuda y acompañamiento.

A mi familia, por estar en todo momento; por su preocupación y seguimiento, por su asistencia permanente.

A mis amigos, TODOS, por tantos buenos momentos, por hacer las cosas más fáciles; por el acompañamiento en momentos difíciles.

A mi tutor interno, Gustavo D. Vanoli, por su dedicación y paciencia; por su excelente atención y asesoramiento durante la realización de la práctica supervisada.

A mi tutor externo, Darío M. Sestopal, por brindar el espacio para el desarrollo de la práctica supervisada, confiando en mi desempeño y aportando a mi capacitación.

Córdoba; Agosto de 2013



# Construcción Pavimento Urbano

## Valle Cercano – Córdoba

### RESUMEN

El presente documento corresponde al Informe Técnico Final del trabajo desarrollado en el marco de la Práctica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil. El mismo hace referencia a la dirección técnica de la obra de pavimentación urbana en el barrio Valle Cercano (Cba), perteneciente al grupo Ecipsa Holding S.A.

Dicha obra consiste en la construcción de pavimento flexible con bocacalles de Hormigón; adicionalmente, se han realizado todas las obras anexas para garantizar el desagüe de la zona: lagunas de retención, badenes de ingreso a lagunas, etc.

El proyecto estuvo a cargo del estudio técnico perteneciente al Ing. Hugo Porchietto. La construcción fue llevada adelante por la empresa constructora *Ing. David Sestopal*, bajo la supervisión de *Coas Consultores Asociados*.

El informe ha sido organizado en 9 Capítulos cuyo contenido principal se describe en el índice general. Se detallan aspectos asociados al tipo de contrato, método constructivo, control de calidad, equipos utilizados, plazos de obra, avance, etc. Se complementa la información con imágenes tomadas en obra, gráficos, tablas y fórmulas según sea necesario. Cabe destacar que este documento está orientado fundamentalmente al aspecto práctico de esta tarea, utilizando un respaldo teórico según sea necesario. De ese modo, se omiten algunos aspectos de la teoría que no realizan ningún aporte significativo a esta publicación.



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
1.1. Desarrollo de la Práctica Supervisada .....	8
1.2. Objetivos y alcance de la Práctica Supervisada.....	9
1.2.a. Objetivos generales .....	9
1.2.b. Objetivos específicos .....	9
<b>CAPÍTULO 2. Descripción General de la Obra.....</b>	<b>10</b>
2.1. Ubicación y partes contractuales .....	10
2.2. Descripción general.....	11
2.2.1. Descripción del loteo.....	11
2.2.2. Descripción del paquete estructural .....	11
2.2.3. Desagüe de las aguas pluviales.....	12
2.2.4. Emplazamiento .....	14
2.2.5. Documentación de Obra.....	14
<b>CAPÍTULO 3. Procedimiento constructivo - Tareas preliminares .....</b>	<b>17</b>
3.1. Sistema de Referencia Planimétrico. Replanteo de calles.....	17
3.2. Sistema de Referencia Altimétrico.....	18
3.3. Revisión de los planos de proyecto.....	21
3.4. Instalación del obrador .....	22
3.5. Tratamiento de residuos.....	23
3.6. Identificación de la zona de acopio.....	23
<b>CAPÍTULO 4. Procedimiento constructivo - Descripción de las diferentes etapas de obra.....</b>	<b>25</b>
4.1. Limpieza de terreno en zona de calles .....	25
4.2. Desmonte, incluido transporte lateral.....	26
4.2.a Determinación de la profundidad de excavación .....	30
4.3. Preparación subrasante 15 cm de espesor.....	30
4.4. Desmonte laguna de retención .....	36
4.5. Preparación Subbase 15cm de espesor.....	37
4.6. Cordón cuneta 0.9 m <sup>2</sup> /ml – Bocacalles y Badenes 0.18 m de espesor .....	42
4.6.a Replanteo y nivelación para la colocación de encofrados .....	45
4.6.b Colado, compactación, terminación y confección de juntas de dilatación ...	48
4.6.b.1. Fundamentos de la compactación del Hormigón.....	53



4.6.c Curado del Hormigón .....	55
4.7. Preparación Base Granular 12 cm de espesor.....	58
<b>CAPÍTULO 5. Control de Calidad; Descripción de los diferentes ensayos.....</b>	<b>63</b>
5.1. Control de Calidad para materiales constitutivos de la subrasante, subbase granular y base granular .....	63
5.1.a. Ensayo Proctor Modificado: Aspectos Básicos y Metodología .....	64
5.1.b. Resultados Obtenidos para el Ensayo Proctor Modificado en Subrasante, Subbase Granular y Base Granular. ....	68
5.1.c. Control de la Curva Granulométrica para Base Granular .....	74
5.1.d. Evaluación de densidades de suelos compactados mediante el Método de la Arena (o Método del Cono de Arena) .....	76
5.1.d.I Procedimiento de calibración de la arena de ensayo.....	78
5.1.d.II Determinación de la densidad del suelo en el terreno.....	79
5.1.d.III Cálculos a efectuar en laboratorio.....	81
5.1.e. Evaluación de Densidades mediante el uso del Densímetro Nuclear .....	83
5.2. Control de Calidad en el Hormigón.....	84
5.2.a Definiciones Básicas.....	84
5.2.b Tipos de Control .....	86
5.2.c. Control de la calidad del Hormigón a través de la resistencia potencial .....	87
<b>CAPÍTULO 6. Certificación de Obra.....</b>	<b>88</b>
6.1. Estructura y contenido del certificado .....	88
6.2. Metodología de certificación .....	90
6.3. Índices de ajuste de precios unitarios: Reconsideración de precios por el método de la fórmula polinómica o escalatoria .....	91
6.3.a. Contexto económico Actual .....	91
6.3.b. Metodología para la determinación de los índices de reajuste de precios	92
6.3.c. Ejemplo de aplicación .....	95
<b>CAPÍTULO 7. Equipos utilizados en obra .....</b>	<b>97</b>
7.1. Excavadora Caterpillar 320L .....	98
7.1.a. Bases para la selección de la configuración de transporte de la máquina	98
7.1.b. Consideraciones para calcular el tiempo de ciclo .....	100
7.1.c. Aspectos básicos para incrementar el rendimiento del equipo.....	101



7.1.d.	Tablas para determinar la capacidad de producción de una excavadora	104
<b>7.2.</b>	<b>Motoniveladora Caterpillar 140G</b>	<b>105</b>
7.2.1	Determinación del rendimiento del equipo	106
7.2.2.	Factores que afectan el rendimiento teórico de la motoniveladora	108
7.2.3.	Recomendaciones básicas para incrementar el rendimiento	109
7.2.4.	Valores de rendimiento en función del tipo de trabajo y del espesor del sssssestrato	111
<b>7.3.</b>	<b>Cargador Frontal Caterpillar 966C</b>	<b>111</b>
7.3.1	Determinación del rendimiento del equipo	113
7.3.2.	Factores que afectan el rendimiento teórico del cargador frontal	115
<b>7.4.</b>	<b>Equipos de compactación, riego y limpieza</b>	<b>116</b>
<b>CAPÍTULO 8. Conclusiones</b>		<b>119</b>
<b>8.1.</b>	<b>Conclusiones referidas a la Práctica Supervisada y a la Formación Profesional</b>	<b>119</b>
<b>8.2.</b>	<b>Conclusiones referidas a la Obra construida</b>	<b>120</b>



## CAPÍTULO 1. Introducción

En el presente trabajo se exponen las tareas realizadas en el marco de la Práctica Supervisada (PS) del alumno Leonardo Ricca como instancia académica necesaria para alcanzar el título de Ingeniero Civil según Plan 2005 de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (FCEfyN) de la Universidad Nacional de Córdoba – Argentina.

Conforme se establece en el Régimen General de Práctica Supervisada dictado por el Honorable Consejo Directivo de la FCEfyN en el año 2004 los objetivos que se pretenden alcanzar son:

- ✓ Brindar al estudiante experiencia práctica complementaria en la formación elegida, para su inserción en el ejercicio de la profesión, cualquiera sea su modalidad.
- ✓ Facilitar el contacto del estudiante con instituciones, empresas públicas o privadas o profesionales que se desempeñan en el ámbito de los estudios de la disciplina que realizan.
- ✓ Introducir en forma práctica al alumno en los métodos reales y códigos relativos a las organizaciones laborales.
- ✓ Ofrecer al estudiante y profesores experiencias y posibilidades de contacto con nuevas tecnologías.
- ✓ Contribuir con la tarea de orientación del alumno respecto a su ejercicio profesional.
- ✓ Desarrollar actividades que refuercen la relación Universidad – Medio Social, favoreciendo el intercambio y enriquecimiento mutuo.
- ✓ Redactar informes técnicos convenientemente fundamentados acerca de la práctica propuesta y los resultados de su realización.

Con el propósito de abordar los objetivos académicos indicados en el Reglamento, se ha realizado la dirección técnica de la obra de pavimentación urbana en el barrio Valle Cercano (Cba).



### 1.1. Desarrollo de la Práctica Supervisada

El régimen general para la realización de la Práctica Supervisada (PS) según las resoluciones del HCD 296 y 389-04 establece como pasos administrativos previos al desarrollo de la misma el siguiente procedimiento:

- ✓ Elección de la empresa donde se desarrolla la práctica.
- ✓ Recopilación de la documentación que acredite la vinculación del alumno con la empresa.
- ✓ Presentación de la propuesta de la PS.
- ✓ Designación de tutores.
- ✓ Desarrollo de las actividades de la PS.

Se entiende como PS a la realización por parte del alumno, de un mínimo de 200 hs de práctica en sectores productivos y/o de servicios o bien en proyectos concretos desarrollados por la institución para estos sectores o en cooperación con ellos y es de cumplimiento obligatorio para la Carrera de Ingeniería Civil que dicta la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Se completará con el Informe Técnico que constituye el “marco de referencia teórico” de la práctica profesional a realizar y de los resultados de su aplicación; de elaboración y conclusiones personales relacionado con las incumbencias profesionales e integrador de los conocimientos adquiridos, que debe realizar el alumno para obtener el grado de Ingeniero Civil.

La empresa donde se realizó la PS fue *Ing. David Sestopal*, bajo la tutela y supervisión del Ingeniero Civil *Darío M. Sestopal*.

Las actividades que desarrolló el alumno comprenden la dirección técnica de obra, incluyendo control de producción, control de calidad, certificación, pedido de materiales, etc.



## **1.2. Objetivos y alcance de la Práctica Supervisada**

### 1.2.a. Objetivos generales

Obtener experiencia práctica complementaria, aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Emplear los conceptos adquiridos durante el cursado de las distintas materias adecuadas a las necesidades de la temática elegida, facilitando al autor, su inserción como profesional en el ámbito laboral y de trabajo multidisciplinario.

### 1.2.b. Objetivos específicos

- ✓ Aprender en detalle el método constructivo de una obra vial urbana
- ✓ Realizar tareas de dirección técnica, entre las cuales se destaca la nivelación y replanteo planimétrico del terreno
- ✓ Controlar el funcionamiento y trabajo de la maquinaria necesaria para la obra
- ✓ Realizar el trabajo de manera tal que se cumplan las exigencias durante la inspección
- ✓ Controlar el trabajo realizado mediante la ejecución de ensayos de densidad, relación densidad-humedad, etc
- ✓ Realizar la certificación quincenal de la obra
- ✓ Efectuar el control de materiales; realizar ensayos de recepción de materiales, ensayos para el control de calidad, etc



## CAPÍTULO 2. Descripción General de la Obra

### 2.1. Ubicación y partes contractuales

La obra consiste en la pavimentación de las etapas N°3 y N°4, correspondientes a los barrios El Recreo y La Amistad respectivamente, del complejo Valle Cercano, ubicado en el predio comprendido entre las calles Río Negro y Sobremonte, en la ciudad de Córdoba; Córdoba, Argentina. En la FIGURA 2.1.1 puede observarse la ubicación del predio a partir de una imagen satelital.



FIGURA 2.1.1

Corresponde a un proyecto inmobiliario del grupo Ecipsa Holding S.A, con una superficie total de 14 Ha aproximadamente.

La construcción del pavimento se encuentra a cargo de la empresa Ing. David Sestopal, bajo la supervisión preliminar de la consultora COAS Consultores Asociados. El diseño fue realizado por el estudio del Ing. Hugo Porchietto.



## 2.2. Descripción general

### 2.2.1. Descripción del loteo

El emprendimiento está constituido por 16 manzanas, entre las cuales se distribuyen 250 lotes. La construcción del mismo se lleva a cabo en 4 diferentes etapas; la analizada aquí corresponde a la etapa N° 2. La superficie total de calles para esta etapa es de 27.000 m<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente 12600 m<sup>2</sup> corresponden a avenidas perimetrales, mientras que el resto se distribuye en calles internas pertenecientes a dos barrios simétricos.

El proyecto de la etapa N°2 comprende alrededor de 4 Ha destinadas a espacios verdes, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- Un cantero divisorio en avenida de doble calzada (Avenida Parque), al sur del loteo, con una superficie de 3500 m<sup>2</sup>.
- Una plaza pública en cada uno de los barrios internos; cada una de ellas posee una superficie de 4400 m<sup>2</sup>.
- Un cantero central de uso recreativo, el cual actúa como espacio divisorio entre las etapas N° 2 y N° 4. Su superficie es de 29000 m<sup>2</sup>.

### 2.2.2. Descripción del paquete estructural

El proyecto comprende la construcción de calles con perfiles viales tipo, bajo la reglamentación de la Ordenanza Municipal N° 8060 y sus normas complementarias.

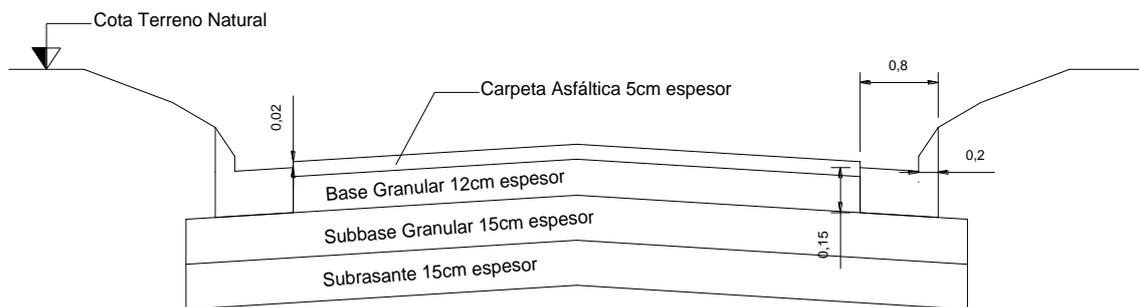
El paquete estructural posee un espesor total de 32cm; corresponde a pavimento flexible, el cual consiste en:

- Subrasante 15 cm de espesor; conformada mediante el mejoramiento del suelo natural sin tierra vegetal
- Subbase Granular 15 cm de espesor; materializada con *suelo arena*, el cual corresponde a suelos limo-arenosos con una dosificación 20-80 (20% de suelo – 80% de arena)
- Base Granular 12 cm de espesor; constituida por material tipo 0-20.
- Carpeta Asfáltica espesor 5cm



Las cunetas son construidas con hormigón, en un espesor de 15 cm, ubicado sobre la subbase granular.

Las bocacalles y badenes se encuentran constituidas por carpetas de hormigón simple de 18cm de espesor, asentadas sobre la subbase granular. La FIGURA 2.2.1 muestra un corte transversal de la calle, el cual permite observar el paquete estructural para un determinado perfil tipo:



**FIGURA 2.2.1 – Corte Esquemático del Paquete Estructural**

### 2.2.3. Desagüe de las aguas pluviales

El escurrimiento de las aguas de lluvia es garantizado por pendientes longitudinales superiores a la mínima (0.3%). El agua corre por las líneas de agua, en las cunetas, y desemboca en dos lagunas de regulación de 1435 m<sup>2</sup> y 3300 m<sup>2</sup> respectivamente.

En general, la cota de rasante es levemente inferior a la del terreno natural (aproximadamente 15 cm). Esta situación constituye un diseño óptimo, debido a lo siguiente:

- Los volúmenes de desmonte son bajos, de modo que se reducen los costos de construcción
- Se logra un adecuado confinamiento de las cajas, lo cual facilita la compactación de los diferentes materiales y permite obtener un mejor resultado
- El calzado de los cordones (relleno de la zona ubicada en la parte trasera del cordón cuneta mediante el uso de suelo vegetal) resulta mucho más sencilla y adecuada. Es decir, se logra una armonía entre el



terreno natural y la calle, evitando grandes saltos de ingreso a las propiedades. Además, el efecto erosivo del agua es considerablemente menor, debido a que los taludes son más reducidos.

Grandes diferencias, en un sentido u otro, entre la cota de rasante y la del terreno natural, conducen a inconvenientes de diferente índole:

- Una rasante ubicada muy por debajo del terreno implica grandes volúmenes de desmonte, dificultades para el calzado de los cordones, posibilidades de interferencia con napas freáticas, taludes excesivamente empinados para el acceso a las propiedades, etc
- Por el contrario, en aquellos casos en que la rasante se encuentra por encima del terreno natural, el trabajo puede resultar aún más complejo. Si la diferencia es muy significativa, puede requerirse la construcción de terraplenes (no ha ocurrido en este caso). Pueden existir, además, inconvenientes con la presencia del suelo vegetal, a tal punto de que sea necesario efectuar una excavación para luego rellenar con material útil para la construcción de la subrasante, con el posible agravante de que sea insuficiente, en la zona de obra, el suelo disponible para ello. Además, una rasante sobre elevada implica el relleno de terrenos para elevar las viviendas, la extracción y transporte de material para el calzado de cordones, la falta de confinamiento de las cajas, etc. No obstante, en algunos casos y dependiendo de las circunstancias, los factores anteriormente mencionados pueden constituir un aspecto positivo; por ejemplo, la necesidad de distribuir material para incrementar la altura de los terrenos puede ser conveniente en aquellos casos en que la superficie de la zona de acopio es insuficiente.

La importancia de tener en cuenta los factores aquí mencionados radica en el hecho de que no siempre es posible acceder a la cota óptima de la rasante respecto de la del terreno natural, puesto que en la mayoría de los casos los niveles se encuentran condicionados por las pendientes de escurrimiento y, fundamentalmente, por las variaciones de altura que presenta el terreno.



#### 2.2.4. Emplazamiento

La obra a construir consta de los siguientes ítems, con sus respectivos controles, los cuales se describirán en detalle posteriormente:

ITEM	Un.	CANT. CONTRATO
Limpieza de terreno zona de camino	m2	34 157,76
Desmante incluido transporte lateral	m3	16 491,39
Carpeta asfáltica 0,05	tn	2 156,66
Riego de liga	m2	17 605,41
Imprimación	m2	17 605,41
Base granular 0,12 m	m3	2 668,90
Sub Base (80-20) 15 cm de espesor	m3	4 089,86
Preparación Subrasante 0,15m	m2	27 265,74
Cordón cuneta 0,90 m2/ml	ml	6 079,72
Bocacalle H° espesor 0,18 m y bajadas de laguna	m3	854,96
Terraplen a nivel rasante	m3	0,00
Desmante laguna incluido Dist de Transporte no mayor a 500m	m3	4 508,07
Cañería de PVC 200mm indicada en planos de laguna de retardo	m	16,40

**TABLA 2.2.1 – Cómputo Métrico de la Obra**

#### 2.2.5. Documentación de Obra

Los trabajos se realizaron de acuerdo a la documentación de obra, que incluye información escrita y gráfica, la cual se adjunta al presente informe a modo de anexos:

- Pliego general de especificaciones técnicas
- Pliego particular de especificaciones técnicas
- Planos de proyecto

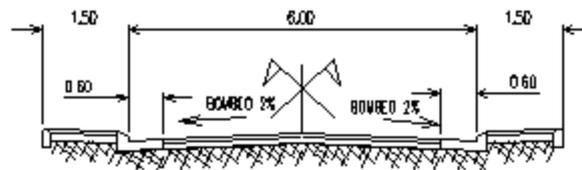
La documentación gráfica se compone de:

- Planimetría general, en la cual puede observarse la obra completa, distancias, radios, niveles, numeración de calles, tipología de perfiles, etc.



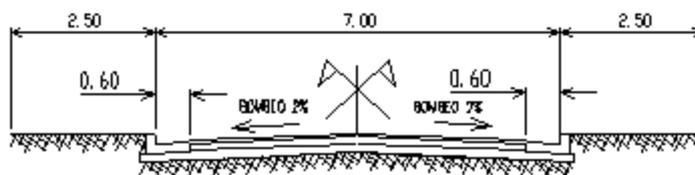
- Planialtimetría: Aquí pueden observarse los perfiles longitudinales de cada una de las calles a construir; en estos, pueden consultarse las cotas de proyecto de manera más detallada, la composición de badenes, la diferencia aproximada entre cota de rasante y terreno natural, cambios de pendiente y demás. Cada plano de corte vertical cuenta también con el perfil transversal tipo de la calle correspondiente; se distinguen 4 perfiles diferentes, de acuerdo a la distancia entre líneas municipales:

CORTE TRANSVERSAL CALZADA ANCHO 6.00 m  
USO VEHICULAR RESTRINGIDO



ESCALA: 1:12.5

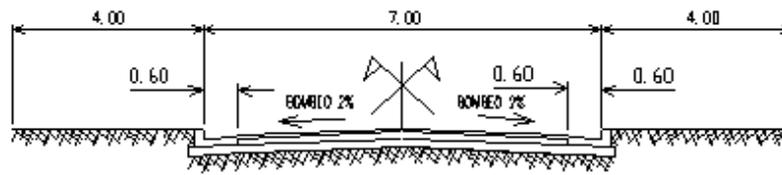
CORTE TRANSVERSAL CALZADA ANCHO 7.00 m



ESCALA: 1:12.5

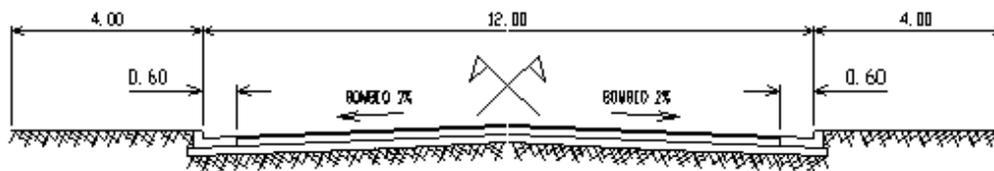


CORTE TRANSVERSAL CALZADA ANCHO 7.00 m



ESCALA: 1:12.5

CORTE TRANSVERSAL CALZADA ANCHO 12.00 m



ESCALA: 1:12.5

**FIGURA 2.2.2 – Perfiles Tipo**



## CAPÍTULO 3. Procedimiento constructivo - Tareas preliminares

### 3.1. Sistema de Referencia Planimétrico. Replanteo de calles.

El replanteo planimétrico se realiza en base al plano de loteo, teniendo en cuenta las esquinas de las manzanas, quiebre, etc. Éste ha sido materializado mediante mojones de hormigón, utilizando para ello una Estación Total.

A partir de lo anterior y en base al perfil transversal de la calle correspondiente, se ha realizado el replanteo de su eje longitudinal utilizando cinta métrica, tanza y nivel óptico.

A los efectos del replanteo, se considera la distancia entre líneas de agua de cada calle, asignando un sobre ancho de 50 cm a ambos lados de la calzada, lo que permitirá posteriormente la construcción del cordón cuneta. Dicho sobre ancho se fundamenta en el hecho de que resulta necesario un espacio de 20 cm para ubicar el cordón propiamente dicho (se utilizan cordones montables de 20 cm de ancho), un espacio adicional, también de 20 cm, para la ubicación del molde y un margen de 10 cm para poder desarrollar la tarea con mayor comodidad.

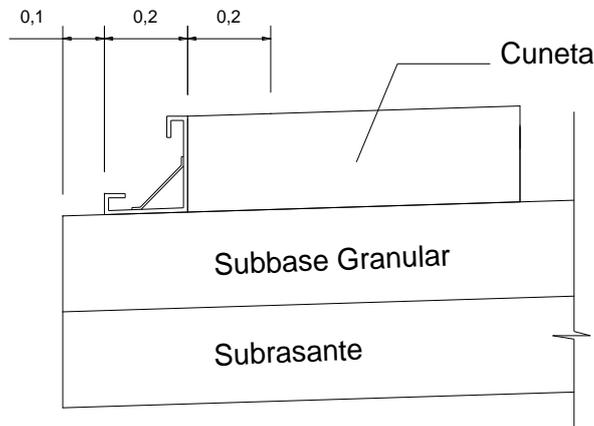


FIGURA 3.1.1 – Detalle de Colocación de Moldes Para Cordón Cuneta

La demarcación de las calles, necesaria para efectuar la limpieza del terreno, se ha realizado utilizando segmentos de cal convenientemente distanciados (20 m aprox.).



### 3.2. Sistema de Referencia Altimétrico

Los niveles de proyecto hacen referencia a un sistema de puntos fijos adoptado por el proyectista en base a obras existentes.

En la ejecución de la obra se debe respetar dicho sistema con la finalidad de que las cotas finales de obra coincidan con las de proyecto. Esto es importante para garantizar el escurrimiento de las aguas superficiales y facilitar la proyección de futuras ampliaciones.

Es necesario ampliar el sistema de puntos fijos con la finalidad de abarcar toda la extensión en planta de la obra. Para ello, deben disponerse puntos fijos adicionales, materializados mediante elementos adecuados, en aquellos lugares en que dicho punto no será alterado o removido. Pueden utilizarse también los mojones de hormigón pertenecientes al loteo. Esta tarea se realiza mediante el uso del Nivel Óptico.

Antes de utilizar este instrumento, es necesario verificar que el mismo esté calibrado; dicha verificación debe hacerse periódicamente para evitar errores en la nivelación. Este procedimiento se puede sintetizar de la siguiente manera:

- Ubicar dos puntos definidos y suficientemente distanciados (50 m o mas)
- Establecer una estación fuera de la línea que une ambos puntos, a una distancia considerable del punto más cercano
- Tomar ambas lecturas y obtener la diferencia correspondiente
- Establecer una segunda estación aproximadamente en el centro de la línea que une ambos puntos
- Tomar ambas lecturas y calcular la diferencia entre las mismas
- Verificar que la diferencia entre ambos resultados sea inferior a la admisible. Las tolerancias dependen de diversos factores:

- ✓ Para la construcción de subrasante, se admiten errores relativamente altos, los cuales pueden derivarse tanto de problemas asociados a la nivelación, como también de errores en los trabajos de corte sobre estaca. Para este caso, una diferencia de hasta 3 cm puede ser aceptable si solo afecta a zonas de superficie reducida. Lo



anterior se fundamenta en el hecho de que las consecuencias asociadas a este tipo de errores no resultan de gran importancia, ya que: Si el error es tal que se reduce el espesor de la subbase (nivel de subrasante superior al correcto) dicha diferencia pierde importancia debido a los coeficientes de seguridad utilizados en el diseño del paquete, sumado a ello el hecho de que particularmente en esta zona, el tráfico real será, a lo largo de la vida útil de la obra, mucho menor al de proyecto. Por el contrario, si la diferencia es en sentido opuesto (nivel de subrasante por debajo del correcto), se deberá emplear un volumen levemente inferior de material constitutivo de la subbase, lo cual no implica un gran inconveniente, debido al reducido costo de este.

- ✓ Para la construcción de la subbase, la tolerancia es mucho más reducida. Si la diferencia implica un mayor uso de hormigón, entonces esto representará un grave problema, debido al elevado costo de este material (un nivel de subbase ubicado por debajo del correcto implica un volumen exedente de hormigón, fundamentalmente en el caso de las bocacalles y badenes; esto representa una pérdida de dinero para el contratista, puesto que el mismo solo recibe el pago por la cantidad teórica). Cuando la diferencia es en sentido opuesto, y siempre que se trate de errores inferiores a 1cm, el error puede ser omitido debido a las razones mencionadas en el ítem anterior. Sin embargo, tratándose de cordón cuneta de 15 cm de espesor, y teniendo en cuenta que la altura del encofrado es de 15 cm, un error de este tipo puede conllevar a la necesidad de retoques en la subbase, los cuales dan como resultado un trabajo desprolijo y de baja calidad.
- ✓ En el caso del Hormigón, el error admisible se reduce a cero, fundamentalmente en trazas de pendientes mínimas. Si la pendiente longitudinal es muy reducida, al cometer un error se obtiene como resultado un tramo con pendiente inferior a la mínima, lo cual genera la posibilidad de estancamiento de agua. Tómese como ejemplo: si la pendiente es del 0.3%, entonces dos puntos ubicados a 20 m deben



tener una diferencia de cota de 6cm. Si se comete un error de 1 cm, entonces la diferencia de nivel entre uno de los puntos extremos y el punto intermedio será de 4 cm, pero en el tramo restante, resultará una caída de 2cm, obteniéndose una pendiente del 0.2%.

- ✓ En la construcción de la base granular, el error también debe ser nulo. Sin embargo, las consecuencias estarán directamente relacionadas al tipo de equipo utilizado para la confección de la carpeta asfáltica. Si se usa una terminadora de asfalto con paladores, no se conseguirán los espesores teóricos, lo cual puede implicar, según el sentido del error, un déficit de espesor en la carpeta o, por otro lado, el uso innecesario de material, lo que resulta altamente costoso. Si el equipo no dispone de un sistema de paladores y se limita solo a la distribución de una carpeta de espesor teórico (5 cm en este caso) resultará una superficie irregular, pudiendo dificultar el escurrimiento del agua.

En función de las tolerancias mencionadas, el encargado de la nivelación debe adoptar un criterio adecuado según el caso. Se debe lograr equidad entre tiempos de trabajo y los posibles inconvenientes. Así, la distancia entre progresivas en trabajos de nivelación de subrasante puede ser superior al caso de la subbase granular. El uso de progresivas ubicadas a distancias muy reducidas implica el empleo de tiempos prolongados en las tareas de nivelación y corte. Estos tiempos se verán justificados solo en aquellas situaciones en que se requiera reducir ampliamente el error.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la omisión absoluta de errores resulta imposible. Debido a ello, ante un error de nivelación, deben evaluarse las ventajas e inconvenientes de las posibles soluciones. Por ejemplo, un error fuera de los rangos admisibles en la superficie de subrasante puede ser aceptado en algunos casos; es decir, si en una zona determinada los niveles resultantes son inferiores a los correctos, puede ser conveniente tomar la decisión de emplear mayor cantidad de material de subbase, evitando la extensión de los tiempos de obra, el empleo de cantidades adicionales de combustible y mano de obra, etc.



Si el nivel óptico está en condiciones, puede seguirse el siguiente procedimiento para establecer los diferentes puntos del sistema de referencia altimétrico:

- Asignar al punto cuya cota quiere determinarse, una ubicación conveniente, de acuerdo a lo mencionado con anterioridad
- Tomar lectura en un punto fijo de cota conocida, generando así un horizonte visual ( $HV = \text{Cota PF} + \text{Lectura}$ )
- Tomar lectura en el punto de interés, y obtener la cota del mismo a partir de los siguiente:

$$\text{Cota PFi} = HV - \text{Lectura en PFi}$$

Es recomendable establecer estaciones no muy alejadas de los puntos fijos a utilizar para disminuir el error. Este criterio estará sujeto prioritariamente a la calidad del nivel disponible. En este caso, se dispuso de un equipo de calidad media, de modo que se han evitado lecturas a distancias superiores a los 50 m.

### **3.3. Revisión de los planos de proyecto**

En este apartado se hace referencia al control de los planos con la finalidad de identificar posibles errores de proyecto. Esta práctica es altamente recomendable, puesto que cometer un error durante la etapa constructiva puede conducir a importantes consecuencias respecto a los tiempos, aspectos económicos, etc. Cabe aclarar que, si bien el proyecto es revisado por los entes de control para su aprobación, pueden subsistir algunos inconvenientes.

En este caso en particular, se ha identificado lo siguiente:

- Errores de niveles en algunos perfiles longitudinales
- Errores de referencias; curvas de  $90^\circ$  constituidas por asfalto, lo cual no resulta recomendable por el mayor esfuerzo que ejercen los vehículos al girar en esas zonas, pudiendo provocar daños en la carpeta de rodamiento. También se ha modificado, bajo el consentimiento de la inspección y de los propietarios, un tramo de 9.36m de longitud, para el



cual se indica un paquete flexible. Dicho tramo se encuentra ubicado entre dos bocacalles de hormigón. Debido a su reducida extensión, se ha determinado construir un paquete rígido para facilitar el proceso constructivo.

- Se ha tratado de evitar, en lo posible y siempre que la cantidad del ítem *desmonte* no sea considerablemente afectada, el uso de pendientes mínimas. Esto se explica en el hecho de que, frente a una pendiente del 0.3%, pueden presentarse problemas de escurrimiento, debido a razones variadas (deficiencias o imperfecciones constructivas, presencia de residuos en las cunetas, etc). En general, las modificaciones afectan a la rasante a lo largo de toda una calle, siempre con el objetivo de obtener pendientes adecuadas.

### **3.4. Instalación del obrador**

El obrador necesario para una obra de esta categoría no presenta grandes requerimientos; debe tenerse en cuenta también que no es necesario el alojamiento del personal.

Se ha delimitado una zona de obrador y se dispuso un contenedor cerrado para guardar las herramientas de trabajo y una casilla que brinda refugio en caso de que sea necesario. También se dispuso de baños químicos al servicio del personal.

Las máquinas permanecen a la intemperie, lo cual no presenta ningún problema. En épocas de bajas temperaturas, se ha recurrido al uso de anticongelantes añadidos al combustible para disminuir su punto de congelamiento.

La superficie destinada al obrador es de 300 m<sup>2</sup> aproximadamente, la cual corresponde al área del lote asignado para ello. El cercado de la zona de obrador se ha omitido debido al servicio de guardia durante las 24 hs. La ubicación estuvo condicionada a la disponibilidad de espacio ofrecida por la empresa propietaria del loteo; en la toma de esta decisión, se ha tenido en cuenta el impacto visual de los equipos e instalaciones y las distancias a la zona de trabajo.



### **3.5. Tratamiento de residuos**

El tratamiento de residuos no ha sido totalmente adecuado, salvo en ciertos aspectos.

Los residuos asociados al personal fueron almacenados durante cortos períodos en tambores de 200L de capacidad, ubicados en la zona de obrador. Sin embargo, la disposición final de los mismos ha tenido lugar en el basural público de la ciudad, ubicado a 1.5 km de la obra.

Mayores fueron los problemas provenientes del tratamiento de residuos derivados de los trabajos de hormigón y asfalto. Inicialmente, los volúmenes sobrantes fueron provisoriamente almacenados en una zona no visible dentro del loteo. Una vez acumulada cierta cantidad de material, se procedió al picado y posterior transporte de los sobrantes al basural de la ciudad, mediante el empleo de bateas pertenecientes a la empresa. Luego, por razones de tiempo, estos residuos han sido enterrados en los espacios verdes del lugar.

### **3.6. Identificación de la zona de acopio**

Antes de comenzar con las tareas de excavación, se identificó y acondicionó la zona de acopio de tierra prevista en los pliegos.

Dicha zona corresponde a un futuro espacio verde de aproximadamente 3 Ha, ubicado en el centro del loteo. El mismo actúa como divisorio de los diferentes barrios y en aquí se alojan las lagunas de retención.

Para permitir el ingreso a los camiones, fue necesaria la nivelación del terreno mediante el uso de un cargador frontal y una motoniveladora.

Las IMÁGENES 3.5.1, 3.5.2 y 3.5.3 muestran a ambos equipos trabajando. La IMAGEN 3.5.4 permite observar la playa de acopio terminada.

El trabajo anterior se ha realizado repetidas veces durante la etapa de desmonte, debido a que el espacio en planta de la zona de acopio es insuficiente para distribuir la totalidad del material (16.500 m<sup>3</sup>). A partir de esta tarea, ha resultado un incremento del nivel del cantero de alrededor de 50 cm.



**IMAGEN 3.5.1 – Zona de Acopio**



**IMAGEN 3.5.2 - Zona de Acopio**



**IMAGEN 3.5.3 - Zona de Acopio**



**IMAGEN 3.5.4 - Zona de Acopio**



## CAPÍTULO 4. Procedimiento constructivo - Descripción de las diferentes etapas de obra.

### 4.1. Limpieza de terreno en zona de calles

De acuerdo al cómputo efectuado, la superficie total sobre la cual se debe efectuar esta tarea es de 34.157 m<sup>2</sup>.

Una vez realizado el replanteo planimétrico acorde a lo que se describió en la sección 3.1, se procede a la remoción del suelo vegetal mediante el uso de motoniveladora y posterior retiro utilizando cargador frontal y camión volcador de 8 m<sup>3</sup> de capacidad. Cabe aclarar que la limpieza de terreno puede efectuarse implícitamente a través de una retroexcavadora (equipo utilizado para el desmonte), pero esto no es recomendable por diversas razones: la precisión es mucho menor, y no se logra separar la cubierta vegetal del suelo inferior, el cual puede resultar útil para realizar terraplenes. No es admisible la presencia de materia orgánica en el paquete estructural. No obstante, presenta una ventaja notable respecto a la disminución de los tiempos de operación y a la reducción en cuanto al uso de maquinarias.

Este ítem comprende la sustracción del suelo vegetal, para lo cual resulta conveniente comenzar demarcando los límites para luego retirar el material ubicado en el centro de la calzada.

Las IMAGENES 4.1.1 y 4.1.2 muestran la demarcación de los límites, mientras que la IMAGEN 4.1.3 permite observar la tarea avanzada.



**IMAGEN 4.1.1 – Limpieza de Terreno**



**IMAGEN 4.1.2 - Limpieza de Terreno**



**IMAGEN 4.1.3 - Limpieza de Terreno**



**IMAGEN 4.1.4 - Limpieza de Terreno**

En la IMAGEN 4.1.4 puede verse el retiro del suelo vegetal luego de que el mismo ha sido acordonado por la motoniveadora.

En caso de que las condiciones del terreno sean desfavorables (poca visibilidad, mucha vegetación, fuertes pendientes, etc), debe reducirse la distancia entre las marcas del replanteo, o bien debe disponerse de un operario encargado de señalar dichas marcas al maquinista

#### **4.2. Desmote, incluido transporte lateral**

La cantidad total según contrato es de 16.491 m<sup>3</sup>. Sin embargo, no existen en la actualidad instrumentos de precisión adecuada para realizar el cómputo métrico de este ítem, por lo que debe ponerse especial atención a esta tarea y adoptar diferentes metodologías de control.

Por ejemplo, el método adoptado para determinar la cantidad de material desmontado consiste en efectuar progresivas cada 10 m, y determinar la profundidad de excavación necesaria. Luego, se realiza un promedio de los niveles obtenidos y se adopta ese resultado para el cálculo. De este modo, realizando el producto entre el largo, el ancho y el espesor del cajón, se obtiene el volumen de desmote. Dicho resultado debe ser afectado por un coeficiente de esponjamiento que depende en general del tipo de suelo. Para este caso, se adoptó un valor del 25%.



Es recomendable realizar un control del resultado obtenido basándose en la cantidad de viajes cargados, considerando la capacidad de los camiones utilizados para el transporte.

Este ítem comprende la remoción del suelo existente, necesaria para llegar aproximadamente a la cota de subrasante. En referencia a ello, es recomendable mantener la excavación por encima de los niveles finales, para luego realizar una aproximación de mayor precisión. Por otro lado, se ha comenzado por las zonas de menor cota, para evitar embalses de agua en caso de precipitaciones.

El equipo utilizado para realizar esta operación es la retroexcavadora, fundamentalmente cuando la profundidad de excavación es considerable (mayor a 30 cm). La cantidad de camiones a utilizar para el transporte debe ser acorde al rendimiento del equipo y a la distancia al acopio. Para efectuar esta tarea, se disponen estacas de madera distanciadas unos 15 m, en las cuales se indica la profundidad de desmonte. La eficiencia del trabajo depende fundamentalmente de las aptitudes del maquinista.

En algunos casos, en que la profundidad es reducida (inferior a 30cm), puede resultar conveniente el uso de una motoniveladora. Se procede de la misma manera que en el caso anterior. La desventaja de esta metodología radica en el hecho de que luego deben emplearse otros equipos para retirar el material acordonado en el centro de la calzada. Por otro lado, si el volumen de tierra a remover es muy grande, puede ocurrir que el trabajo se vea imposibilitado debido a la falta de espacio para almacenar el material dentro de la calle a medida que se realiza la tarea.

Desde un punto de vista práctico, para avanzar con mayor rapidez es conveniente evaluar, a partir del plano, aquellas calles en las que el nivel de excavación es reducido (inferior a 25cm); también deben identificarse los lugares en los que la profundidad sea mayor. De ese modo, se puede realizar el desmonte empleando ambos equipos. Además, el uso de la retroexcavadora en zonas en donde la profundidad de excavación sea reducida no es recomendable, puesto que resulta una tarea compleja.



La IMAGEN 4.2.1 muestra el trabajo realizado por una motoniveladora; las IMÁGENES 4.2.2 y 4.2.3 permiten observar la tarea efectuada por la retroexcavadora.



**IMAGEN 4.2.1 – Desmonte con Motoniveladora**



**IMAGEN 4.2.2 – Desmonte con Retroexcavadora**



**IMAGEN 4.2.3 – Desmonte con Retroexcavadora**

Una vez efectuado el destape con la retroexcavadora, debe perfilarse la calle mediante el uso de la motoniveladora, para emparejar así la superficie de la misma y dar un gálibo aproximado.

Posteriormente, debe realizarse una aproximación para alcanzar un nivel ubicado entre 3 cm y 4 cm por encima de la cota final de subrasante. Esto permitirá realizar la compactación del suelo, a partir de la cual el nivel experimentará un descenso de entre 2 cm y 3 cm, dando lugar al corte final sobre estaca.



Es importante que la cota antes de la compactación sea superior a la cota final ya que, de lo contrario, una vez realizado el corte, no podrá elevarse el nivel, puesto que cargar material sobre la subrasante terminada resulta inadmisibles (no se desarrolla adherencia entre ambas capas, fundamentalmente para espesores inferiores a 5cm, dependiendo de las características del suelo). De ese modo, debería procederse a la reconformación del estrato, lo cual implica la utilización de equipos y mano de obra adicional, o bien a la compensación con un mayor espesor de subbase granular.

Para realizar dicha aproximación, es conveniente efectuar orificios en el terreno cuya cota de fondo es la requerida, y colocar cal hidratada en los mismos. Luego, se realiza el corte con motoniveladora, respetando el fondo de dichos agujeros. En caso de que sea necesario elevar el nivel, lo cual puede realizarse en esta etapa sin inconvenientes, pueden efectuarse plataformas con el mismo suelo natural, las cuales indicarán la cota para el terraplén. No es recomendable utilizar estacas de madera para la aproximación, debido al elevado costo de las mismas y, fundamentalmente, al hecho de que luego dichas estacas pueden confundirse con las del corte final.

Véase en las IMAGENES 4.2.4 y 4.2.5 el procedimiento descrito hasta aquí:



**IMAGEN 4.2.4 – Aproximación de Niveles en Subrasante**



**IMAGEN 4.2.5 – Aproximación de Niveles en Subrasante**



También es importante al realizar la aproximación que la diferencia no sea excesiva puesto que, en ese caso, al realizar el corte final, se retiraría una porción considerable del estrato compactado.

#### 4.2.a Determinación de la profundidad de excavación

Un procedimiento adecuado desde el punto de vista práctico consiste en lo siguiente:

- Para una calle determinada, identificar las cotas de rasante en sus extremos, indicadas en el plano.
- Luego deberá restarse el espesor del paquete estructural, para obtener las cotas de subrasante.
- Calcular la pendiente del tramo, como la relación entre la diferencia de cotas de extremo y la longitud entre ambos puntos.
- Determinar la cota de subrasante en cada una de las progresivas
- Tomar lectura en el punto fijo más cercano, de cota conocida.
- Obtener el horizonte visual correspondiente, como la suma entre la cota del PF y la lectura en dicho punto.
- Calcular la lectura teórica de subrasante en cada progresiva, como la diferencia entre el horizonte visual y la cota de cada punto
- Determinar la profundidad de desmonte, como la diferencia entre la lectura teórica y la lectura real en cada progresiva

#### 4.3. **Preparación subrasante 15 cm de espesor**

La superficie estimada de la totalidad de las calles posee un valor de 27.265 m<sup>2</sup>. Suponiendo que los niveles se encuentran dentro de los valores adecuados (según lo explicado anteriormente), se puede proceder a la preparación de este estrato, el cual comprende el mejoramiento del suelo natural.

Antes de comenzar con esta tarea, será necesario contar con los datos de las densidades del Ensayo Proctor Modificado para subrasante. La descripción



de este ensayo y los lineamientos a seguir para su ejecución pueden consultarse en la *Sección 5.1 – CAPITULO 5*. En este punto se hará referencia a los resultados obtenidos. Se han ensayado dos muestras, tomadas una en cada uno de los barrios a pavimentar, *asumiendo que las condiciones del suelo presentan una variación poco significativa dentro de un mismo barrio*. Así, se obtuvo:

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD SUB-RASANTE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	1,668
<b>HUM OPTIMA:</b>	18,50%

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO SUB-RASANTE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	1,629
<b>HUM OPTIMA:</b>	17,90%

**TABLA 4.3.1**

Estos datos permiten determinar en forma aproximada la cantidad de agua que debe añadirse al suelo, conociendo la humedad natural del mismo. Además, serán los valores utilizados como parámetros de comparación al realizar el control de densidades (se exige para la subrasante un grado de compactación del 95%, respecto a la densidad máxima).

A continuación, se describe la metodología de trabajo:

En principio, con la finalidad de lograr una humedad homogénea en el suelo, será necesario escarificar la superficie mediante el uso de una motoniveladora, en una profundidad aproximada de 15cm. Puede resultar aún más adecuado, si existe disponibilidad, utilizar un equipo de arrastre con discos giratorios, con el cual puede lograrse una mejor distribución del agua necesaria para la compactación.

Una vez escarificada la superficie, debe procederse a añadir el agua necesaria mediante camiones cisterna, que permitan regular el caudal de riego para evitar la acumulación de humedad en puntos singulares. Con respecto a



esto, es de considerable importancia evitar dicha acumulación, lo cual produciría la formación de baches en el estrato. Los baches afectan fundamentalmente a suelos finos, y comprenden zonas en las que existe exceso de humedad, en las cuales el agua contenida no tiene la posibilidad de drenar a corto plazo, de modo que cualquier carga aplicada sobre dicha zona es absorbida por esta, al ser incompresible (esto se conoce como “efecto de acolchonado”). A largo plazo se produce el drenaje del agua acumulada, lo que da lugar a un hundimiento de la superficie, produciendo una falla en el pavimento. Por ello es una condición indispensable evaluar la presencia de baches una vez terminada la subrasante (lo mismo debe emplearse para el resto de las capas del pavimento).

El agua de riego no debe dotarse en una operación única, sino que es necesario proporcionarla en cantidades parciales, a medida que se realiza el mezclado del suelo con la motoniveladora. Las IMÁGENES 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 muestran el proceso de humedecimiento.



**IMAGEN 4.3.1 – Humedecimiento del Material de Subrasante**



**IMAGEN 4.3.3 Humedecimiento del Material de Subrasante**

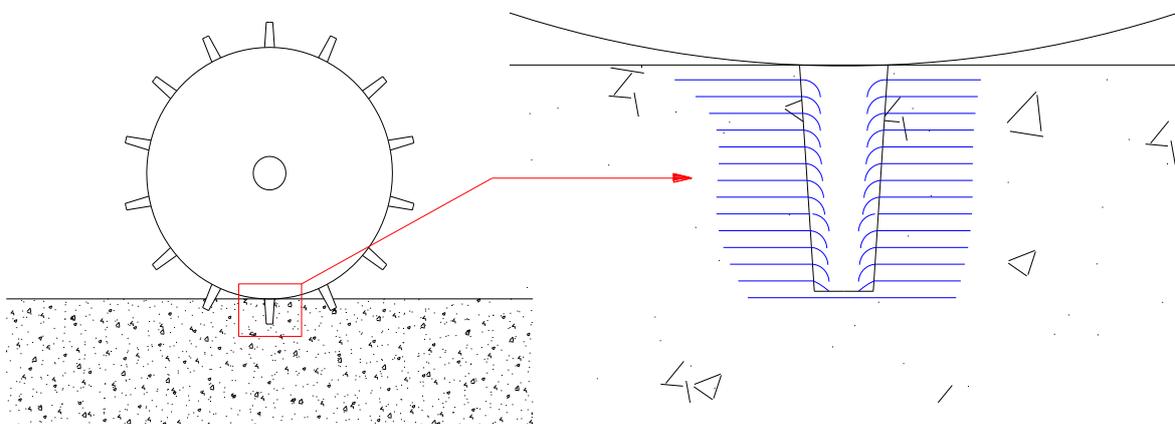


**IMAGEN 4.3.2 - Humedecimiento del Material de Subrasante**



Lo que se busca es incorporar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima; no obstante, en la práctica esto resulta muy difícil, por lo que la eficiencia del proceso de humedecimiento del suelo está sujeta en gran medida a la experiencia de quien esté encargado del mismo. Un mecanismo de control adecuado consiste en verificar que la cantidad de agua añadida sea la correcta, considerando el porcentaje de humedad óptima, y teniendo en cuenta el volumen de suelo a humedecer, asumiendo un espesor del estrato de 15cm.

Finalizada esta tarea, y conformada la superficie del terreno mediante la motoniveladora, debe procederse a la compactación propiamente dicha. Por tratarse de suelos cohesivos, será necesario utilizar en primera instancia un equipo con rodillo *Pata de Cabra*. Esto permitirá reducir el canal de drenaje del agua contenida en el suelo, evitando que el esfuerzo ejercido por el equipo de compactación sea absorbido por la misma. Para aclarar este concepto, se presenta la FIGURA 4.3.1:



**FIGURA 4.3.1 – Esquema conceptual, referido al funcionamiento de un rodillo para de cabra**

Este esquema muestra cómo el uso de un rodillo de estas características permite el drenaje lateral del agua, incrementando la eficiencia de la compactación.

El equipo utilizado en esta obra introduce además un efecto vibratorio, que incrementa la presión de compactación. Cuando se procede a la compactación de un estrato, cualquiera sea el equipo utilizado, resulta



conveniente comenzar por una de las orillas, y desplazarse progresivamente al extremo opuesto superponiendo la mitad del rodillo en cada una de las pasadas. La IMAGEN 4.3.4 muestra el proceso de compactación con un equipo autopropulsado. Es importante evaluar la superficie compactada con la finalidad de determinar el punto en que la compactación ha sido suficiente. A tal efecto, puede asumirse que dicho punto se logra cuando la huella del rodillo se marca con menor intensidad. Es decir, si la profundidad en la que penetran las patas del rodillo en el terreno es reducida, ello estará indicando un incremento de densidad considerable, a diferencia del momento en que comienza a realizarse la tarea. La IMAGEN 4.3.5 permite observar esta situación.



**IMAGEN 4.3.4 – Compactación de la Subrasante**



**IMAGEN 4.3.5 - Compactación de la Subrasante**

Una vez que se logre lo anterior, es necesario preparar la superficie para realizar el estaqueado. En algunos casos será necesario efectuar un riego superficial para luego proceder al perfilado de la zona de trabajo. Posteriormente será conveniente repasar la superficie mediante un vibrocompactador de rodillo liso.

Se procede entonces a colocar las estacas para dar los niveles finales de subrasante. Aquí se ha efectuado la nivelación con una precisión de 0.5 cm, utilizando progresivas ubicadas a 15 m de distancia. Se han respetado tanto la



cota de eje como las de líneas de agua. El corte se lleva a cabo de manera análoga que en el caso de la aproximación previamente descripta, utilizando cal hidratada para facilitar la visualización de las estacas.

Terminada esta operación, debe retirarse el material sobrante. Es recomendable, para ello, utilizar un cargador frontal con balde liso, sin dientes, para evitar marcar la superficie de subrasante. Como solución óptima, puede emplearse una minipala cargadora la cual, debido a su reducido peso, permite realizar el trabajo con mayor precisión.

Finalmente deberá perfilarse nuevamente la calle, con riego previo si se considera necesario, para luego repararla por última vez con el vibrocompactador liso. En la IMAGEN 4.3.6 puede verse la subrasante durante el proceso de estaqueado.



**IMAGEN 4.3.6 – Nivelación de Subrasante**

Como tarea final, se requiere evaluar la presencia de baches en el estrato. En caso de que se presente un problema de este tipo, deberá retirarse el material y reemplazarlo por otro con humedad adecuada, para efectuar todo el tratamiento detallado hasta aquí. No es recomendable colocar un material de diferente

calidad, puesto que presentará un comportamiento mecánico distinto, pudiendo generar inconvenientes en los estratos superiores.

Si los controles verifican y la subrasante se encuentra en condiciones, constituye una práctica adecuada (una vez realizados los controles de calidad) cubrir la superficie de la misma con el material de la subbase (sin necesidad de efectuar el tratamiento correspondiente), que por ser un suelo granular presentará un mejor comportamiento a las acciones temporales del tránsito y del ambiente externo.



#### **4.4. Desmante laguna de retención**

Anteriormente se ha indicado que las aguas de lluvia son conducidas a dos lagunas de regulación de capacidad adecuada.

Una de ellas, la de menor superficie, se encuentra prevista en el contrato de pavimentación de etapas anteriores. Aquí se ha ejecutado la laguna ubicada al este del parque central, indicada en los planos de proyecto.

Como práctica adecuada resulta conveniente iniciar la obra con la excavación de las lagunas y continuar con el desmante de calles desde la zona aguas abajo, para evitar daños mayores en caso de lluvias. Sin embargo, por razones de avance de obra y conveniencia respecto a la certificación, se pospuso esta tarea para comenzarla una vez terminada la excavación de las calles, ejecutando un desagüe provisorio de menor capacidad.

El replanteo de la zona se efectuó en base a los mojones pertenecientes al loteo, utilizando para ello una estación total.

Una vez efectuada la demarcación, se procedió a materializar el perímetro mediante la motoniveladora. Posteriormente se tomaron algunos niveles significativos y se conformaron alcanzando los mismos en una zona de área reducida utilizando la retroexcavadora. Esto sirvió de referencia para efectuar la excavación inicial.

Tal como se ha indicado anteriormente, la superficie total de la laguna es de 3300 m<sup>2</sup>. La profundidad promedio es de 1.57 m, dando como resultado un volumen de 5180 m<sup>3</sup>. Los taludes poseen una longitud de 6m en la base.

Para la excavación se ha utilizado la retroexcavadora, complementada con 3 camiones volcadores de 8 m<sup>3</sup> de capacidad, estando la zona de acopio aproximadamente a 150 m del lugar de la excavación. El tiempo empleado en terminar el trabajo fue de 72 horas.

Las IMÁGENES 4.4.1 y 4.4.2 muestran el equipo realizando la excavación; la misma se ha efectuado trabajando en fajas de 5 m de ancho, conformando los taludes desde la zona superior en forma simultánea.



**IMAGEN 4.4.1 – Desmonte Laguna**



**IMAGEN 4.4.2 - Desmonte Laguna**



**IMAGEN 4.4.3 - Desmonte Laguna**

La IMAGEN 4.4.3 permite observar la zona una vez terminada la excavación. Para culminar el trabajo será necesario humedecer la superficie y repasar la misma con la motoniveladora, realizando un ajuste final de los niveles de fondo.

#### **4.5. Preparación Subbase 15cm de espesor**

El volumen total de la subbase de las calles según contrato es de 4089.86 m<sup>3</sup> lo cual corresponde, considerando un espesor de 15 cm, a una superficie igual a la de subrasante. El material constitutivo de este estrato (suelo arena 20-80) se transporta con un alto grado de humedad, muy cercano en general al porcentaje de humedad óptima. Esto hace dificultosa la comercialización por toneladas, debido al peso adicional del agua, de modo que la distribución se realiza en forma volumétrica. .



En este caso, la preparación del material se ha efectuado en cantera; no obstante, podría llevarse a cabo en obra, empleando cargador frontal o retroexcavadora.

El transporte se efectúa mediante bateas de 25 m<sup>3</sup> de capacidad (las cuales transportan una carga teórica de 28m<sup>3</sup>), o bien a través de equipos de vuelco lateral con un porte cercano a los 30 m<sup>3</sup>. No obstante, la correcta medición del volumen de material cargado resulta compleja, de modo que es de considerable importancia efectuar un control periódico del material recibido con la finalidad de evitar diferencias que pueden resultar significativas al finalizar la obra.

Asumiendo que cada viaje contiene el volumen teórico, debe calcularse en principio la cantidad de material necesario para cada calle. Supóngase una cancha de ancho “a” y largo “l”; el espesor final será de 15 cm, a lo que debe sumarse un margen adicional para contemplar la reducción de volumen debido a la compactación y la sobre altura necesaria para efectuar el corte final. Ambos aspectos pueden ser tenidos en cuenta considerando un excedente del 30%. De este modo, en las condiciones planteadas, la cantidad de viajes necesarios será:

$$N^{\circ} \text{ viajes} = (l \times a \times 0.15 \text{ m} \times 1.3) / 28 \text{ m}^3$$

Lógicamente el resultado deberá aproximarse al número entero superior para evitar el déficit de material.

La IMAGEN 4.5.1 muestra la descarga de un equipo de vuelco lateral de 30 m<sup>3</sup> de capacidad; este tipo de transporte tiene la ventaja, respecto a la batea, de poder distribuir la carga de manera más adecuada, a lo largo de un tramo de mayor longitud y sin generar acumulación de material. Además, constituye un detalle de importancia el hecho de que el equipo no está sujeto a problemas de interferencias con tendidos eléctricos ubicados en altura, los cuales pueden condicionar el lugar de descarga de las bateas. También debe destacarse la mayor adaptabilidad de este sistema a terrenos irregulares, en los cuales existe la posibilidad de que se produzca el vuelco de la batea debido a la altura a la cual se eleva la caja durante la descarga, fundamentalmente si



se genera acumulación de material en la zona delantera. La IMAGEN 4.5.2 permite observar la operación de una batea de 25 m<sup>3</sup> de capacidad (con 28 m<sup>3</sup> transportados); como ventaja puede mencionarse la mayor facilidad de maniobra, lo cual resulta de elevada importancia debido a los anchos relativamente reducidos que poseen las calles en este caso. Con suficiente precaución puede ejercerse una maniobra adecuada para evitar la acumulación de material y lograr la descarga repartida uniformemente.



**IMAGEN 4.5.1 – Transporte en Equipo**



**IMAGEN 4.5.2 – Transporte en Batea**

Conocida la cantidad de material necesario para un determinado cajón, resulta conveniente colocar estacas de madera en las líneas de agua, en progresivas distanciadas unos 20 m, correctamente niveladas, de modo tal que en el nivel adoptado se considere el margen adicional previamente mencionado. De este modo se dispone de espacio suficiente para la descarga, para luego extender el material utilizando la motoniveladora respetando las alturas proporcionadas. Además, esto constituye un control adicional que permitirá verificar que el volumen de material descargado coincida con lo previsto.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el hecho de que la subbase constituye el apoyo de las cunetas, los badenes y las bocacalles, de modo que la elaboración de este estrato debe realizarse con una precisión elevada para evitar la utilización innecesaria de hormigón, cuyo costo relativo respecto al



resto de los materiales es muy alto. Por ello se utilizan progresivas ubicadas a 10 m de distancia.

Del mismo modo que en el caso de la subrasante, debe disponerse de los datos referentes al ensayo Proctor Modificado (humedad óptima y compactación máxima). Para este caso, se obtuvo:

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO SUB-BASE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,037
<b>HUM OPTIMA:</b>	12,20%

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD SUB-BASE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,04
<b>HUM OPTIMA:</b>	13,50%

**TABLA 4.5.3**

El grado de compactación exigido para la subbase granular es del 100% de la densidad de suelo seco del Proctor Modificado.

A continuación se describe la metodología de trabajo:

En cuanto al humedecimiento del material, deben seguirse los mismos lineamientos indicados en el tratamiento de subrasante, descritos en las páginas 24 y 25 de la sección 4.3.

Finalizada esa tarea debe procederse a la compactación del estrato. Teniendo en cuenta que se trata de un suelo friccional, resulta favorable utilizar un método por vibración. Un procedimiento de este tipo genera una sucesión de impactos sobre la superficie del terreno, induciendo trenes de ondas que se propagan hacia abajo produciendo en las partículas movimientos oscilatorios, eliminando la fricción interna entre las mismas y ocasionando así un reacomodamiento de la estructura interna del material, incrementando su densidad.

De acuerdo a esto se ha utilizado un vibrocompactador liso, comenzando por uno de los laterales y desplazándose progresivamente hacia el opuesto, de modo tal que haya una superposición de medio rodillo entre dos pasadas sucesivas. Al realizar esta tarea es importante tener en cuenta todos los aspectos necesarios para lograr la eficiencia requerida; el grado de



compactación alcanzado dependerá, además del contenido de humedad y de la energía transmitida por el equipo, del número de pasadas que se realicen, tendiendo este a un valor asintótico para un número excesivo. También será necesario evitar el giro del equipo sobre la superficie de trabajo, para lograr en la misma una uniformidad adecuada.

Posteriormente deberá efectuarse la nivelación definitiva y el estaqueado final. Es recomendable llevar a cabo esta tarea inmediatamente luego de haber terminado la anterior para evitar el secado de la superficie, lo cual la haría muy dificultosa debido al endurecimiento del material.

Al culminar la nivelación, abalizadas cada una de las estacas con cal hidratada, se procede al corte de la cancha, remoción del material, riego, perfilado y sellado final. Debe tenerse en cuenta que el material retirado es totalmente útil y se encuentra en óptimas condiciones de humedad, de modo que resulta conveniente utilizarlo para la preparación de la calle siguiente en caso de ser necesario.

En este tipo de suelos es inusual la formación de baches, debido a la alta capacidad de drenaje con la que cuentan los mismos. De todos modos, en caso de que se presente una zona con exceso de humedad, como primera medida podrá dejarse reposar un tiempo prolongado con la posibilidad de que se produzca el saneado del mismo sin intervención.

Terminado el trabajo es preciso efectuar los controles de calidad correspondientes (análogos al caso de subrasante). La IMAGEN 4.5.4 permite observar el proceso de compactación de la subbase granular; puede verse el efecto producido por el equipo de compactación sobre el material suelto; además del incremento de densidad, genera una superficie lisa y apta para el apoyo de los elementos de hormigón. La subbase terminada puede verse en la IMAGEN 4.5.5.



**IMAGEN 4.5.4 – Compactación de Subbase**



**IMAGEN 4.5.5 – Superficie de Subbase terminada**

Lógicamente existe una serie de aspectos adicionales del material que son modificados mediante la compactación. El comportamiento esfuerzo-deformación de una arena suelta y una arena compacta difieren radical, pero gradualmente. Las arenas fuertemente compactadas muestran comportamientos netamente frágiles, en tanto que el mismo material suelto ostenta comportamientos claramente plásticos.

#### **4.6. Cordón cuneta 0.9 m<sup>2</sup>/ml – Bocacalles y Badenes 0.18 m de espesor**

En esta sección se hará referencia a los aspectos más importantes de estos elementos. Teniendo en cuenta que ambos se construyen de hormigón simple, existe una extensa lista de consideraciones que deben tenerse en cuenta para lograr un adecuado comportamiento de este material. No obstante, en este informe se hará hincapié solo en los temas que competen mayormente a la puesta en obra del hormigón, con comentarios sencillos respecto a aquellos de menor interés. Hacer mención de todos los tópicos a tener en cuenta resulta complejo, y excede los objetivos de este documento.

Todo lo referente al control de calidad del material puede consultarse en el apartado 5.2 del Capítulo 5; sin embargo, se ha exceptuado lo referente al control del hormigón fresco por considerarse una tarea implícita en el método constructivo, de modo que el encargado de la recepción debe tener el conocimiento suficiente para llevar a cabo dicho control, garantizando la adecuada calidad del producto.



De acuerdo a ello, se indican aquí los ensayos más importantes que deben efectuarse al recibir el hormigón en obra, detallando cada uno de ellos e indicando el procedimiento a seguir. Cabe aclarar que en este caso el control de calidad del hormigón ha sido llevado a cabo por la empresa proveedora en su totalidad (Holcim S.A).

Entonces, como tarea preliminar en la confección de cunetas, bocacalles y badenes, deberá evaluarse lo siguiente:

- Consistencia; Asentamiento en el Tronco Cono (IRAM 1536)

Este método provee una evaluación cuantitativa de la consistencia del hormigón y es el más comúnmente empleado, dado que la mayoría de los hormigones utilizados corresponden al rango de aplicabilidad del método (Asentamientos entre 2 y 15 cm). La medición de la consistencia permite también evaluar la uniformidad entre pastones.

En general, los cambios en la consistencia se deben a variaciones en el contenido de agua de la mezcla, por lo que el método sirve cuando es capaz de detectar esa variación. Un método empleado para un rango de consistencias que no le corresponde, no es suficientemente “sensible“. En pavimentos, aún cuando se trata en general de mezclas secas, se emplea el Método del tronco de cono, por su simplicidad. Justamente, la utilidad de esta determinación radica en que se pueden detectar cambios en la cantidad de agua de las mezclas, que se reflejan en cambios en la consistencia. Y un aumento no previsto en la cantidad de agua traerá aparejada una disminución de la resistencia de compresión en todas las edades, sumado a una disminución de la durabilidad del hormigón, además de mayor contracción por secado.

La toma de muestra debe realizarse sobre la porción media del pastón, salvo que se quiera evaluar la uniformidad de mezclado, en cuyo caso deben extraerse muestras en el primer y último cuarto. Cada muestra debe tener una cantidad de hormigón algo mayor al doble del volumen necesario para ejecutar el ensayo (puede ser necesaria su repetición) y se debe volver a mezclar. El cono, humedecido y escurrido, se coloca sobre una superficie plana, no absorbente. Sujetándolo



firmemente contra el suelo, se llena en tres capas de igual volumen, compactando cada capa con 25 golpes de varilla normalizada. A continuación se enrasa, procurando no volver a compactar el material con esta operación y se extrae lentamente el cono hacia arriba. Finalmente, se mide la diferencia de altura entre el molde y el volumen tronco cónico deformado de hormigón. El ensayo también sirve para evaluar otras características del hormigón, tales como la falta de cohesión y la terminación. Si el cono se parte o fractura cuando se lo golpea lateralmente con la varilla en forma suave, es un indicio de falta de cohesión. La terminación puede evaluarse con una cuchara de albañil o llana, que se pasa sobre una porción del hormigón.

- Medición de la temperatura

La determinación de la temperatura del hormigón en estado fresco se realiza cuando las condiciones ambientales y de exposición de los acopios de los agregados hacen suponer casos extremos. Para temperaturas del hormigón superiores a los 30 °C, se manifiesta una aceleración de los procesos de fraguado. Además, aumentan los riesgos de fisuración plástica del hormigón (sobre todo si hay baja humedad relativa y viento), y se deben extremar las precauciones en el curado temprano. En general, no se debería proseguir la colocación del hormigón si la temperatura del mismo superase los 35°C. La alta temperatura también provoca una disminución del asentamiento y favorece la evaporación de agua de la mezcla. Esto lleva, en general, a la adición ulterior de agua, lo que debe evitarse. Sobre la muestra recién extraída, se introduce un termómetro en la masa de hormigón y se recomienda efectuar la lectura con el termómetro inmerso. En caso contrario, la desecación del bulbo provoca una lectura de temperatura inferior a la real.

Estos son los dos controles efectuados con mayor frecuencia en obra y resultan en general chequeos de rutina /se han realizado controles de este tipo abarcando lotes de 40 m<sup>3</sup> aproximadamente). Por otro lado, existen tres



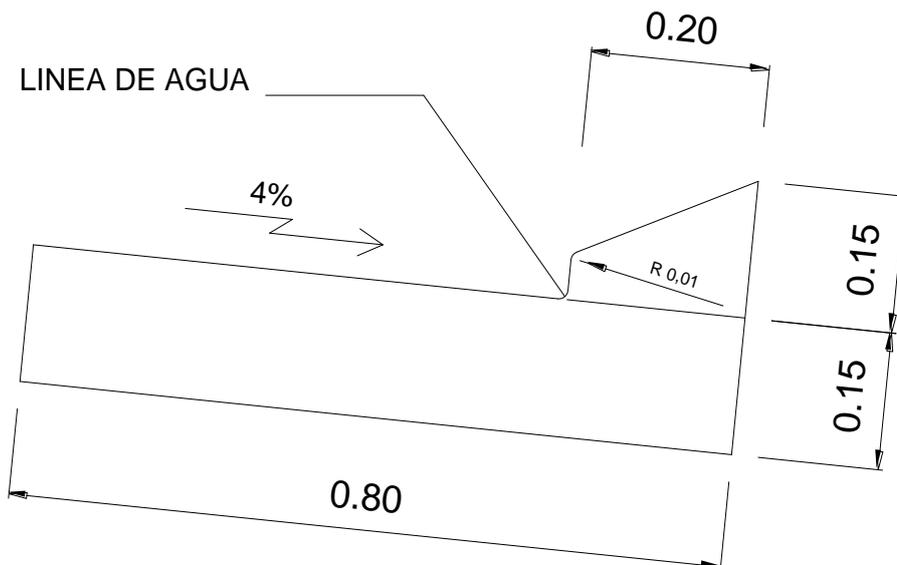
comprobaciones adicionales, que deben realizarse sobre el material pero que se ejecutan solo eventualmente:

- Determinación del Peso y la Unidad de Volumen (P.U.V) y rendimiento (IRAM 1562)
- Determinación del Tiempo de Fragüe (IRAM 1662)
- Determinación del Contenido de Aire (IRAM 1602)

A continuación se hará referencia a todos los aspectos relacionados al método constructivo propiamente dicho, incluyendo la confección de juntas de dilatación y las tareas de compactación, terminación y curado.

#### 4.6.a Replanteo y nivelación para la colocación de encofrados

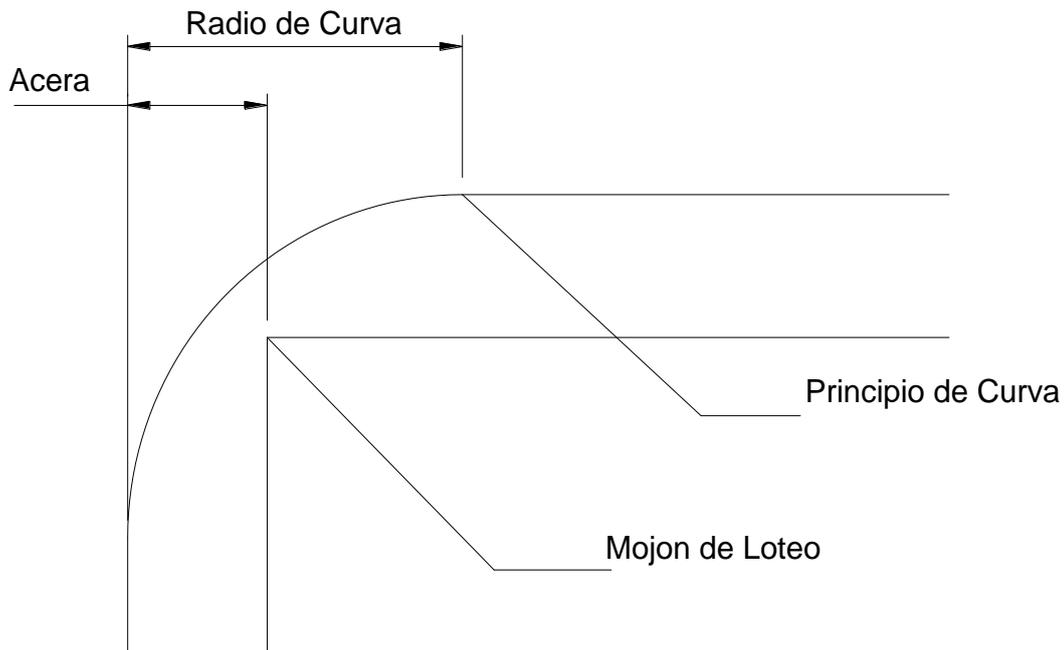
La metodología de trabajo es similar tanto para las cunetas como para las bocacalles y badenes. A continuación se muestra un esquema de corte transversal de la cuneta, el cual servirá de ayuda para la explicación del replanteo y la nivelación.



**FIGURA 4.6.1 – Detalle Corte Transversal Cordón Cuneta**



Para la colocación de los encofrados se colocan clavos de hierro correctamente ubicados y nivelados. Es necesario comenzar por el replanteo de la línea externa, es decir, aquella línea en donde se ubica la espalda del cordón. Para ello se toman como referencia los mojones del loteo en los extremos de la calle, y se ubica el clavo a una distancia igual a la diferencia entre el ancho de vereda y el ancho del cordón. Dicha línea puede materializarse con tanza de albañilería. Sobre esta, deben replantearse los principios de curva extremos de cada tramo. Para ello debe tenerse en cuenta que el radio de curva en la línea de agua es de 6m; de esta manera, tomando nuevamente como referencia el mojón de hormigón perteneciente al loteo, se ubica el principio de curva tomando la distancia desde este punto. Esta distancia será igual a la diferencia entre el radio de curva y el ancho de vereda en la dirección del replanteo. A modo de ejemplo, se presenta la FIGURA 4.6.2, correspondiente a un codo a 90°, para ilustrar lo anterior:



**FIGURA 4.6.2 – Detalle para el Replante de Curvas**

Luego del replanteo de cada principio de curva, debe efectuarse un ajuste mediante la correspondiente escuadra.

Posteriormente deberá verificarse que la distancia entre cada par de puntos extremos coincida con la indicada en planos. Se debe evaluar la cota de



cada inicio de curva, y determinar la pendiente del tramo como la relación entre la diferencia de cotas y la distancia, respetando los posibles cambios de pendiente en el tramo. Hecho esto, se colocan clavos sobre la línea de trabajo, en progresivas ubicadas convenientemente (10 m o menos) y se nivelan de modo tal que la cota del extremo superior del clavo coincida con la de los planos, en el punto correspondiente.

Luego debe disponerse una tanza o hilo sujeta en el extremo de cada uno de los clavos, y ello servirá de guía para la ubicación de los encofrados.

En teoría, debe existir una distancia de 15 cm (igual al espesor de la cuneta) entre la tanza guía y la subbase granular.

Luego de esto debe colocarse el encofrado de la cuneta. En general, cada uno de ellos posee una longitud de 3 m; los moldes deben alinearse con la tanza y se deben colocar de modo tal que la parte superior de los mismos sea paralela a la guía, tratando de que haya coincidencia entre ambas líneas. Para el replanteo y nivelación en dirección transversal, simplemente se ha tomado como referencia el punto ubicado en la línea de agua.

La posición de los moldes debe afirmarse correctamente para evitar el corrimiento de los mismos durante el colado del hormigón. Para ello pueden utilizarse clavos de hierro, o bien, material de desperdicio colocado sobre los mismos. Utilizar clavos brinda la ventaja de una mayor prolijidad; evita la posterior limpieza de la cancha, una vez retirados los moldes. Por el contrario, este método no permite en algunas ocasiones asentar correctamente el encofrado, lo cual podría provocar su desplazamiento arruinando el trabajo realizado. Es por ello que se ha optado por utilizar material de la forma indicada en la IMAGEN 4.6.1. Además, en las IMÁGENES 4.6.2 y 4.6.3 se pueden observar las tareas de replanteo y nivelación.



**IMAGEN 4.6.1 – Fijación de los Encofrados**



**IMAGEN 4.6.2 – Nivelación de Cordón Cuneta**



**IMAGEN 4.6.3 – Nivelación de Cordón Cuneta**

La tarea de moldeado para las bocacalles y badenes es totalmente análoga, solo que requiere un mayor cuidado debido a que se confeccionan grandes paños de hormigón y, además, en estas zonas el agua experimenta cambios bruscos de dirección, de hasta 90°.

#### 4.6.b Colado, compactación, terminación y confección de juntas de dilatación

Luego de lo anterior será posible efectuar el colado del hormigón. El transporte del material se realiza mediante camiones motohormigoneros de 9 m<sup>3</sup> de capacidad. En general se transporta una carga de 8 m<sup>3</sup>, pudiendo en algunos casos encargarse una cantidad menor para evitar sobrantes.

Como se ha mencionado, la calidad del hormigón es garantizada por la empresa proveedora, de modo que resulta inadecuado alterar las propiedades del mismo (añadiendo agua, por ejemplo, para lograr mayor trabajabilidad). Debe tenerse en cuenta que si el material de la subbase se encuentra



totalmente seco, se producirá la absorción de una porción del agua del hormigón, conduciendo ello a un proceso de fragüe inadecuado. Por lo tanto, será necesario efectuar un riego de la superficie de la subbase antes del colado.

La terminación tanto de las cunetas como de las bocacalles y badenes, debe ser lo suficientemente lisa como para garantizar el escurrimiento del agua. No obstante, debe tener a su vez cierta rugosidad para colaborar mediante la fricción a la detención de los vehículos.

El acabado comprende una serie de etapas sencillas, las cuales se describen a continuación:

- Antes de la operación de terminación, el hormigón es colado, compactado y nivelado. Estas operaciones deben ser cuidadosamente planificadas. Es crítico sincronizar las operaciones, por lo que resulta necesario terminar la excavación y la compactación de la subbase, como así también los trabajos de encofrado, con suficiente anticipación a la llegada del camión motohormigonero, distribuido en el sector del badén. Las demoras para iniciar la descarga crean problemas que pueden reducir la calidad final del hormigón terminado. Es importante revestir la superficie de los moldes con aceite desencofrante, para facilitar el retiro de los mismos y evitar imperfecciones en el hormigón terminado.
- Será necesario depositar el hormigón tan cerca como sea posible a su lugar final de vaciado, descargándolo directamente desde la canaleta del camión motohormigonero. En zonas con pendientes elevadas, es recomendable utilizar hormigón con una consistencia mayor. Puesto que se trata de pequeñas superficies, el material se distribuye utilizando una pala cuadrada corta o un rastrillo de concreto. Esta tarea puede verse en la IMAGEN 4.6.4.
- Posteriormente, debe efectuarse el vibrado del hormigón. En este caso, como puede apreciarse en la IMAGEN 4.6.5, se han utilizado vibradores de inmersión de eje flexible. Luego de esta sección, se presenta un apartado en donde se indican los beneficios asociados a la vibración, lo cual permite interpretar los motivos que la hacen necesaria.



- Se procede entonces a la nivelación del hormigón. Para ello puede utilizarse un fratacho o una regla de borde definido tan pronto como el material haya sido compactado. Esta operación debe ser terminada antes que el agua de exudación aparezca en la superficie. El fratacho hace que los agregados gruesos se embeban, aplanan la superficie y eliminan los desniveles altos y bajos. Las IMÁGENES 4.6.6 y 4.6.7 muestran la realización de esta tarea.
- Esperar a que el hormigón termine de exudar. Cualquier operación de terminación hecha durante la exudación del hormigón dará como resultado la aparición de problemas posteriores, tales como la pulverización, el descascaramiento, el resquebrajamiento y las ampollas. Los períodos de espera dependen del asentamiento, de las características de la mezcla del hormigón y de las condiciones climáticas. Durante el período de espera es necesario proteger al hormigón contra la evaporación superficial si el clima es cálido, seco o con vientos. Para ello se ha utilizado antisol base solvente, a razón de 1 L cada 10 m<sup>2</sup>.
- Se procede luego a efectuar la terminación final de la superficie. Para el caso de losas de pavimento, resulta adecuado utilizar una cinta flexible de fibra de vidrio, operada mediante dos personas con un movimiento repetitivo y siempre en un mismo sentido. Véase la IMAGEN 4.6.8 para observar esta metodología.
- Finalmente se lleva a cabo la materialización de las juntas. En el caso de las cunetas, se utilizan separadores metálicos de 3 mm de espesor, colocados de manera tal que los mismos penetren al menos  $\frac{1}{4}$  del espesor de la carpeta. En el caso de las losas de bocacalles y badenes, las juntas de dilatación se efectúan mediante el uso de una aserradora luego de que el fragüe del hormigón haya evolucionado lo suficiente como para que el material no sea dañado con el disco, pero antes de que se produzca la fisura de contracción por fragüe. En la IMAGEN 4.6.9 puede verse este trabajo. Cabe aclarar que posteriormente deberán sellarse las juntas, es decir, rellenar los espacios vacíos con material flexible e impermeable, que permita el desplazamiento relativo de dos



losas adyacentes y, a su vez, evite la penetración de agua, lo cual dañaría seriamente el paquete estructural.



**IMAGEN 4.6.4 – Colado del Hormigón**



**IMAGEN 4.6.5 – Vibrado del Hormigón**



**IMAGEN 4.6.6 – Terminación Superficial del Hormigón**



**IMAGEN 4.6.7 – Terminación Superficial Del Hormigón**



**IMAGEN 4.6.8 – Terminación Superficial Del Hormigón**



**IMAGEN 4.6.9 – Confección de Juntas de Dilatación**

Debe tenerse en cuenta que el colado del hormigón para la confección del cordón montable se realiza en una etapa posterior a la construcción de la cuneta. Cuando el hormigón se encuentra aún fresco, se coloca la armadura de vinculación entre ambos elementos (IMAGEN 4.6.10) la cual consiste en hierros de 4.2mm de diámetro en forma de “U”, ubicados a 30 cm de distancia. Luego, cuando el material de la cuneta fragua lo suficiente como para soportar el peso del molde del cordón y el peso del hormigón que constituye el mismo, se colocan los encofrados correctamente alineados y se procede al vertido de material dentro de los mismos, dando una terminación manual mediante el enrase con fratacho.



**IMAGEN 4.6.10**



#### 4.6.b.1. Fundamentos de la compactación del Hormigón

*El método de compactación mecánica por vibrado constituye un aporte de significativa importancia, cuyo uso tiende a difundirse cada vez más, a tal punto que hoy puede considerársele como práctica normal en todo trabajo donde se requiere un hormigón de alta calidad. Es un principio universalmente aceptado que, **cuando más reducida es la relación agua – cemento del hormigón, mayores son su resistencia, durabilidad y cualidades conexas.** Pero la reducción de la relación agua – cemento, mediante el único arbitrio de la disminución del contenido de agua, produce mezclas poco trabajables, de colocación difícil y costosa con los medios manuales comunes; y con el peligro, a veces también, que permanezcan en la masa del hormigón endurecido porosidades u oquedades que pueden afectar seriamente la resistencia total o parcial, y disminuir de modo considerable la durabilidad y la impermeabilidad de las estructuras. Por tal causa, el uso de hormigones secos y consistentes solo pudo desarrollarse cuando se descubrió que el vibrado modificaba completamente las propiedades reológicas del hormigón fresco.*

*El vibrado consiste en someter el hormigón a rápidas vibraciones (del orden de 50 o más impulsos por segundo) por medio de aparatos especialmente diseñados al efecto. Bajo la acción de estos últimos, el hormigón fresco fluye como un líquido espeso y se extiende dentro de los moldes, mientras el exceso de aire escapa rápidamente a la superficie en forma de abundantes burbujas. Tan pronto como cesa la vibración, la mezcla recupera su rigidez inicial. Ese cambio de consistencia se debe al hecho de que el movimiento vibratorio, al comunicarse a las partículas sólidas contenidas en el hormigón, neutraliza o aminora el frotamiento entre las mismas, permitiendo que la mezcla se asiente y compacte por simple acción de la gravedad. En tales condiciones, un hormigón seco o de escasa consistencia se comporta como si fuera plástico o semi – fluido,*



*lo que permite colocarlo fácilmente en estructuras donde esa operación resultaría impracticable o muy trabajosa, por el método corriente de apisonado manual. El vibrado no sólo facilita la colocación de mezclas más consistentes, sino también más ásperas, esto es, con mayor proporción de agregado grueso, y menor agregado fino, que en los hormigones apisonados comunes. Estos últimos contienen, por lo general, un exceso de mortero que responde a la necesidad de aumentar la trabajabilidad y propiedades cohesivas de la mezcla. Se puede lograr así una mejora sustancial en la calidad del hormigón. Este, a su vez, es el que influye en la relación agua – cemento. Según lo dicho, mediante el vibrado puede mejorarse la calidad o la economía del hormigón; usando mezclas ya sea de mayor consistencia o más ásperas.*

*Así, mediante el empleo de mezclas más consistentes y más ásperas, el vibrado permite una mejora sustancial de la calidad del hormigón, sin aumentar la proporción de cemento, o bien una economía de este último para calidades equivalentes. Las ventajas cualitativas que derivan de la reducción del contenido de agua son bien conocidas y pueden resumirse en los siguientes puntos:*

- 1. Mayor resistencia mecánica*
- 2. Mayor impermeabilidad*
- 3. Mayor durabilidad y resistencia a los agentes agresivos*
- 4. Mejor adherencia entre el hormigón y las armaduras, como así también entre capas sucesivas.*
- 5. Menores cambios volumétricos*
- 6. Menor tendencia a la segregación o exudación del agua (“bleeding”)*



*El vibrado asegura, por otra parte, una mayor homogeneidad del hormigón, evitando o reduciendo a un mínimo la formación de huecos u oquedades. Otra característica ventajosa del hormigón vibrado es que permite usar hormigones de consistencia tan seca, de tan elevada rigidez inicial, que hace posible desmoldar las piezas inmediatamente después de compactadas, lo que reviste singular importancia en el avance de la obra debido a que la cantidad de encofrados es limitada.*

*Como desventaja de este método, puede destacarse la necesidad de mano de obra más especializada y, por lo tanto, más costosa.*

*Se debe tener en cuenta que un exceso de vibrado puede producir la segregación del hormigón, fenómeno a partir del cual los áridos gruesos se depositan en el fondo, resultando una mezcla heterogénea. .*

#### 4.6.c Curado del Hormigón

Las propiedades del hormigón, tales como la durabilidad frente a los ciclos de congelación y deshielo, resistencia mecánica, impermeabilidad, estabilidad volumétrica y resistencia al desgaste, mejoran con la edad mientras existan condiciones favorables para la continuidad del proceso de hidratación del cemento. Este mejoramiento crece rápidamente a edades tempranas y continúa, más lentamente, por un lapso indefinido, como muestra la FIGURA 4.6.3, para la resistencia a la compresión. Dos condiciones se requieren para que tengan lugar tales mejoras:

- La presencia de humedad
- Una temperatura adecuada

Cuando se interrumpe el curado húmedo, el aumento de resistencia prosigue por un corto período y luego se detiene, pero si el curado se reinicia la resistencia vuelve a incrementarse. Si bien esto puede realizarse en el laboratorio, es difícil, en la generalidad de los casos, volver a saturar el



hormigón en la obra. Los mejores resultados se obtienen mediante el curado húmedo continuo del hormigón desde el momento en que es colocado hasta que ha adquirido la calidad deseada. Una evaporación excesiva de agua en el hormigón recién colocado puede retardar apreciablemente el proceso de hidratación del cemento a edad temprana. La pérdida de agua también provoca la retracción del hormigón, generando tensiones de tracción en la superficie expuesta. Si estas tensiones se desarrollan antes que el hormigón haya alcanzado suficiente resistencia, pueden aparecer fisuras superficiales. Todas las superficies expuestas, incluyendo las de bordes y juntas, deben ser protegidas contra la evaporación. La hidratación progresa muy lentamente cuando la temperatura del hormigón es baja. Temperaturas por debajo de los  $10^{\circ}\text{C}$  son desfavorables para el desarrollo de resistencias a edad temprana; debajo de los  $4,5^{\circ}\text{C}$  el aumento de resistencia a edades tempranas se retarda considerablemente y en las proximidades o debajo del punto de congelación hay muy poco o ningún aumento de la resistencia. De aquí se deduce que el hormigón debe ser protegido para mantenerlo a una temperatura adecuada para la hidratación del cemento y para evitar pérdidas de humedad durante el período inicial de endurecimiento.

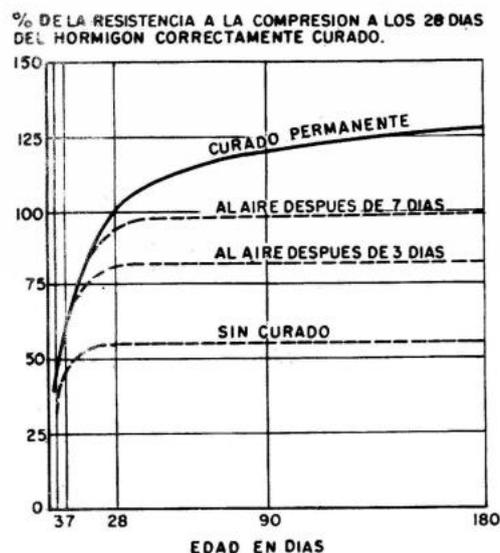


FIGURA 4.6.3



Existen diversos métodos de curado, los cuales pueden clasificarse, en términos generales, de la siguiente manera:

- Métodos que suministran humedad adicional a la superficie del hormigón durante el período inicial de endurecimiento. Estos incluyen la inundación o inmersión, el rociado o pulverización y el uso de cubiertas húmedas. Tales métodos proporcionan, por efecto de la evaporación, cierto grado de enfriamiento, que es beneficioso en tiempo caluroso.
- Métodos que impiden las pérdidas de humedad mediante el sellado o impermeabilización de la superficie del hormigón. Esto puede conseguirse empleando papel impermeable, películas plásticas, etc.
- Métodos que aceleran el endurecimiento del hormigón, suministrándole calor y humedad. Esto se lleva usualmente a cabo mediante vapor vivo o resistencias eléctricas.

El método o la combinación de los métodos seleccionados dependen de factores tales como la disponibilidad de materiales de curado, complejidad y dimensiones de la superficie del hormigón, aspecto estético y economía. En este caso, se ha recurrido a la aplicación de compuestos de curado mediante rociamiento de la superficie, método que se encuadra en el segundo tipo de la clasificación anteriormente descripta.

Los compuestos líquidos capaces de formar membranas de curado, que están constituidos por parafina, resinas, caucho clorado y solventes de alta volatilidad, pueden ser usados para retardar o evitar la evaporación de agua del hormigón. Ellos son útiles no solamente para el curado del hormigón fresco, sino también para el posterior curado después de la remoción de los moldes o encofrados o después del curado húmedo inicial. Los compuestos de curado son de dos tipos: claros o transparentes y con pigmento blanco. Los primeros pueden presentar un tinte fugaz, que desaparece rápidamente después de su aplicación. Esto ayuda a asegurar un completo recubrimiento de la superficie expuesta del hormigón. Durante los días soleados y calurosos, los compuestos con pigmento blanco son más efectivos ya que reflejan los rayos del sol,



reduciendo así la temperatura del hormigón. Los compuestos pigmentados deberán ser mantenidos en agitación dentro de los recipientes para evitar que el pigmento sedimente.

Los compuestos líquidos se aplican mediante equipos de accionamiento manual o mecánico, después de las operaciones de terminación del hormigón y una vez que ha desaparecido el brillo superficial. Normalmente la superficie del hormigón deberá estar saturada cuando se aplica el producto, de tal manera que éste no sea absorbido por los poros superficiales. No obstante, en días secos, calurosos y ventosos o durante períodos con condiciones climáticas adversas, que pueden dar lugar a la fisuración plástica, la aplicación del producto de curado inmediatamente después de efectuada la terminación y antes que se evapore todo el agua superficial, puede evitar la formación de fisuras. Los equipos distribuidores con accionamiento mecánico son recomendables para lograr una aplicación uniforme en obras importantes. Para evitar pérdidas del producto por acción del viento estos equipos deberán estar provistos de picos pulverizadores con pantallas protectoras. Normalmente se aplica el producto en una sola capa uniforme, pero puede ser necesario hacerlo en dos capas para asegurar un recubrimiento completo. Cuando se efectúa una segunda aplicación ésta deberá realizarse en dirección perpendicular a la primera. Deberá lograrse un completo recubrimiento de la superficie, debido a que aún los pequeños huecos en la membrana permitirán la evaporación de la humedad del hormigón.

#### **4.7. Preparación Base Granular 12 cm de espesor**

El volumen total según contrato es de 2688.9 m<sup>3</sup> lo cual corresponde, considerando un espesor de 12 cm, a una superficie igual a la de la carpeta asfáltica. El material constitutivo de este estrato (material granular tipo 0-20) se transporta con una humedad prácticamente nula; la comercialización se realiza en toneladas.

El transporte se efectúa mediante bateas de 25 m<sup>3</sup> de capacidad, las cuales transportan una carga aproximada de 40 t, o bien a través de equipos de vuelco lateral con un porte cercano a los 30 m<sup>3</sup> y una carga en el orden de 45 t. El control de cantidades resulta mucho más sencillo que para el caso del



suelo arena, puesto que existe la posibilidad de efectuar la tara del equipo y posteriormente determinar el tonelaje con una precisión adecuada.

Para determinar la cantidad de material necesario para cada calle, debe evaluarse la densidad máxima alcanzada mediante la compactación; se determina entonces el volumen contenido en cada cajón (espacio delimitado por ambas cunetas en los laterales y por la subbase granular) y a partir de ello se obtiene el resultado como el producto entre ambos valores. Luego, debe consultarse cada uno de los remitos correspondientes a los viajes descargados con el objetivo de lograr la mejor aproximación posible, reduciendo así el movimiento de suelo. Debe tenerse en cuenta al realizar el cálculo que será necesario disponer de un volumen adicional que permita, luego de la compactación, efectuar el corte final sobre estaca. Para ello puede emplearse una densidad del proctor levemente superior a la real, o bien suponer 1 cm adicional en el espesor.

En cuanto a la descarga resulta conveniente, antes de comenzar con la misma, realizar un riego sobre la subbase granular con la finalidad de lograr posteriormente una mejor distribución de la humedad. La altura de las cunetas puede tomarse como referencia para efectuar una primera aproximación de niveles. Es recomendable llevar a cabo la descarga de material en forma corrida, continua (sin espacios entre dos viajes sucesivos), alineada y siempre a un lado del cajón (excepto en perfiles de ancho considerable, en cuyo caso resulta adecuado realizar dos cordones de material, cada uno de ellos adyacentes a las cunetas). De este modo el proceso de humedecimiento resulta mucho más sencillo y, además, se evita de esa manera el movimiento en seco del material, lo cual provoca una separación de granos de diferente tamaño afectando la homogeneidad del estrato al finalizar el trabajo. En referencia a lo anterior, debe ponerse especial atención a la metodología empleada para brindar la humedad de compactación, fundamentalmente si la carpeta asfáltica se conforma inmediatamente después de haber terminado la preparación de la base granular ya que, en tal caso, existen mayores posibilidades de que permanezcan baches en la superficie de la misma. Por el contrario, si se trata de concentraciones de agua superficiales, puede ocurrir que las mismas se anulen sin necesidad de intervención luego de un tiempo



prolongado. Si bien la forma de trabajo no es sistemática y pueden adoptarse diferentes métodos para llevar a cabo esta tarea, aquí se recomienda lo siguiente:

- Evaluar los datos referentes al ensayo Proctor modificado (humedad óptima y compactación máxima). Para este caso, se obtuvo:

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO, BASE GRANULAR</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,296
<b>HUM OPTIMA:</b>	6,50%

<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD, BASE GRANULAR</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,3
<b>HUM OPT.:</b>	6,60%

**FIGURA 4.7.1 – Datos Proctor Modificado para Base Granular**

El grado de compactación exigido para la base granular es del 100% de la densidad máxima del Proctor Modificado.

- Habiendo efectuado la descarga en la condiciones descriptas, retirar parte del cordón utilizando la motoniveladora y extenderlo sobre la superficie libre
- Llevar a cabo el riego sobre el material extendido, manteniendo una velocidad uniforme
- Retirar del cordón de material una fracción adicional y extenderla sobre la misma superficie
- Realizar el riego nuevamente, variando la velocidad del vehículo regador según se presenten zonas con mayor o menor humedad
- Repetir este procedimiento hasta cubrir la totalidad del material acordonado, de manera tal que se logre el paso del cordón hacia el lateral opuesto de la cancha (véanse las IMÁGENES 4.7.1 y 4.7.2)
- Permitir el reposo (si se dispone de tiempo), para luego extender el material y conformar la base para la posterior compactación. Las habilidades del operario de riego y de la motoniveladora ocupan un rol fundamental para la eficiencia del humedecimiento. La conformación



del estrato debe efectuarse en forma aproximada, tomando como referencia los bordes superiores de las cunetas. Antes de proceder a la compactación, es conveniente realizar un control con nivel óptico y verificar que exista la sobre altura necesaria para realizar el corte posterior, controlando el gálibo transversal y las pendientes de proyecto.

- Finalizada esa tarea debe procederse a la compactación del estrato. Teniendo en cuenta que se trata de un suelo friccional, resulta favorable utilizar un método por vibración.

De acuerdo a esto se ha utilizado un vibrocompactador liso, comenzando por uno de los laterales y desplazándose progresivamente hacia el opuesto, de modo tal que haya una superposición de medio rodillo entre dos pasadas sucesivas. Al realizar esta tarea es importante tener en cuenta todos los aspectos necesarios para lograr la eficiencia requerida.

- Posteriormente deberá efectuarse la nivelación definitiva y el estaqueado final. Es recomendable llevar a cabo esta tarea inmediatamente luego de haber terminado la anterior para evitar el secado de la superficie, lo cual la haría muy dificultosa debido al endurecimiento del material. En esta etapa se colocan únicamente estacas sobre el eje de la calle, convenientemente distanciadas; las mismas se nivelan a partir de la cota del cordón cuneta en esa progresiva. El corte en la zona límite con la cuneta puede realizarse en forma directa, observando el borde interno.
- Al culminar la nivelación, abalizadas cada una de las estacas con cal hidratada, se procede al corte de la chancha, remoción del material, riego, perfilado y sellado final. Debe tenerse en cuenta que el material retirado es totalmente útil y se encuentra en óptimas condiciones de humedad, de modo que resulta conveniente utilizarlo para la preparación de la calle siguiente en caso de ser necesario.
- Como última medida constructiva debe evaluarse la superficie y corroborar la ausencia de baches en el estrato. A estos fines puede



recorrerse la cancha con un camión cargado y observar, en forma simultánea, la resiliencia del material en zonas con exceso de agua.

La precisión con la que se lleva a cabo el trabajo es de vital importancia para lograr un espesor adecuado de la carpeta asfáltica, dentro de los límites de tolerancia especificados.



**IMAGEN 4.7.1 – Preparación Base Granular**



**IMAGEN 4.7.2 Preparación Base Granular**



## CAPÍTULO 5. Control de Calidad; Descripción de los diferentes ensayos

Se hará referencia aquí a los controles de calidad que se realizaron en cada uno de los materiales utilizados en la obra.

Como se indicó en el Resumen inicial, se expondrán solo aquellos que competen al trabajo en obra en forma directa.

### **5.1. Control de Calidad para materiales constitutivos de la subrasante, subbase granular y base granular**

El control de calidad para estos materiales puestos en obra implicó la revisión detallada del estrato terminado para identificar, por ejemplo, la posible presencia de elevadas concentraciones de agua. También se evaluó la calidad de la superficie terminada.

Por otro lado, se controló el resultado de la compactación. Para ello se determinó el grado de compactación del estrato, y se verificó que supere al mínimo admisible. Este control implicó la realización en laboratorio del Ensayo Proctor Modificado (ó Proctor Estandar, según sea el caso), con el cual se determinó la humedad óptima y la máxima densidad de suelo seco. Este último valor deberá se comparó con la densidad de suelo seco obtenida en campo mediante un método adecuado y, de ese modo, se determinará el grado de compactación como la relación entre el valor real y el teórico. En este caso, la evaluación de densidades se llevó a cabo mediante el Método de la Arena.

A continuación, se describe la metodología para la realización del ensayo Proctor Modificado y del Ensayo de Densidades por el Método de la Arena. También se presenta, por considerarse de significativa utilidad, una breve descripción respecto del uso, ventajas y desventajas del Densímetro Nuclear, un dispositivo utilizado para la toma de densidades y medición de humedad de suelos. En este caso, este método no ha sido utilizado.



### 5.1.a. Ensayo Proctor Modificado: Aspectos Básicos y Metodología

El objetivo del ensayo consiste en determinar la máxima compacidad de un suelo o capa granular con una energía de compactación determinada, a los fines de evitar asientos una vez puesta en servicio la obra.

Antes de comenzar con la descripción del ensayo, cabe destacar que existen 3 metodologías diferentes para llevar a cabo el mismo, según la granulometría del suelo ensayado:

CONCEPTO	MÉTODO A	MÉTODO B	MÉTODO C
<b>Diámetro del molde (mm)</b>	101,6	101,6	152,4
<b>Volumen del Molde (cm<sup>3</sup>)</b>	943,3	943,3	2124
<b>Peso del Pisón (kg)</b>	4,53	4,53	4,53
<b>Altura de caída del Pisón (mm)</b>	457,2	457,2	457,2
<b>Nº de Golpes por Capa</b>	25	25	56
<b>Nº de Capas</b>	5	5	5
<b>Energía de Compact (t . m/m<sup>3</sup>)</b>	274,82	274,82	274,82
<b>Suelo a utilizar</b>	Porción que pasa la malla Nº 4 (4,57mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla Nº 4	Porción que pasa la malla de 9,5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla Nº4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5mm	Porción que pasa la malla de 19mm. Se usa si más del 20% por peso de material es retenido en la malla de 9,5mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19mm

**TABLA 5.1.1 – Datos prácticos para la realización del Ensayo Proctor Modificado**

En principio deberá realizarse un tamizado de la muestra para llevar a cabo este análisis, lo que permitirá utilizar el método apropiado. Se describe aquí el procedimiento preliminar:

Equipo a utilizar:

- Pala, cucharón de bordes rectos y bandejas
- Manta de lona de 2m x 2.5m aproximadamente
- Tamices 2", ¾ " y Nº4.
- Balanzas



Colocar la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia. Homogeneizar el material y acomodar en una pila cónica; ejercer presión sobre el vértice y aplanar la pila con la pala hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes. Dividir la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala, mezclar y homogeneizar el material. Cuartear sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas (una cantidad adecuada es de 5kg). Utilizar las mallas de 2", 3/4" y N° 4 para separar el material. Pesar el pasante 2" y retenido en 3/4"; pesar el pasante 3/4" y retenido en el N°4; pesar finalmente el pasante tamiz N°4. Determinar el peso total del suelo y obtener los porcentajes que representan el suelo fino y el grueso. Multiplicar estos valores por el peso total para evaluar el método a utilizar.

A continuación, podrá procederse al ensayo de compactación propiamente dicho. Para ello deberá disponerse de los siguientes elementos:

- Molde de compactación, constituido por un cilindro metálico de dimensiones adecuadas según el método a utilizar
- Pisón de 4.53 kg con guía de 45cm de caída
- Una regla metálica con arista cortante de 25cm de largo
- Balanza digital
- Horno eléctrico o a gas
- Bandejas metálicas
- Probetas graduadas de 500 cm<sup>3</sup>
- Extractor de muestras hidráulico
- Pala de mano
- Martillo, guantes, punzón, espátula



Procedimiento:

- Colocar la muestra preparada según lo descrito anteriormente sobre una bandeja metálica, previamente tarada en la balanza.
- Tarar una bandeja de pequeñas dimensiones y colocar sobre la misma una muestra del suelo a ensayar. Determinar el peso de dicha muestra. Secar en el horno, retirar, dejar enfriar y obtener el peso de suelo seco. Esto permitirá calcular la humedad natural del suelo.

$$H\%_{Natural} = \frac{W_{Suelo\ Húmedo} - W_{Suelo\ Seco}}{W_{Suelo\ Seco}} \times 100$$

- Determinar el peso del molde con la balanza
- Tomar parte de la muestra preparada y colocar en el molde, de modo tal que al ser compactada ocupe aproximadamente 1/5 de la altura del mismo
- Utilizar el pisón y proporcionar la cantidad de golpes correspondiente (25 ó 56) distribuidos de manera adecuada
- Repetir el procedimiento con las 4 capas restantes hasta completar el volumen del molde.
- Retirar el collar metálico superior y enrasar con la regla
- Determinar el peso del conjunto (peso del molde mas peso de suelo húmedo)
- Obtener el peso de la muestra utilizada, como la diferencia entre el peso del conjunto y el peso del molde
- Calcular la densidad del suelo húmedo, como la relación entre el peso de suelo húmedo y el volumen del molde
- Calcular la densidad de suelo seco, a partir de la siguiente expresión:

$$\gamma_{Suelo\ Seco} = \frac{\gamma_{Suelo\ Húmedo}}{1 + H\%_{Natural}}$$



- De este modo se tendrá un primer punto para la curva de compactación. Será necesario evaluar 3 puntos adicionales para lograr una precisión adecuada
- Se retira entonces la muestra del molde, utilizando punzón y martillo o prensa hidráulica
- Se evalúa el peso de la muestra sobrante el bandeja
- Se incrementa su humedad en un 2.5%. Para ello, se procede de la siguiente manera: son conocidos el peso de suelo húmedo, la humedad del mismo (que corresponde a la humedad natural del suelo, por ser el segundo punto evaluado), la humedad deseada (como el resultado de añadir un 2.5% a la humedad natural del suelo, para este caso) y el peso de suelo seco, dado por la siguiente expresión:

$$W_{Suelo\ Seco} = \frac{W_{Suelo\ Húmedo}}{1 + H\%_{Suelo\ Natural}}$$

Así, podrá determinarse el peso de suelo húmedo que deberá tener la muestra luego de añadir el agua:

$$W_{Suelo\ Húmedo\ (2)} = W_{Suelo\ Seco} \times (1 + [H\%_{Suelo\ Natural} + 2.5\%])$$

Finalmente, se determina el peso (y por lo tanto el volumen) de agua que debe agregarse, como:

$$W_{Agua\ (1)a\ (2)} = W_{Suelo\ Húmedo\ (2)} - W_{Suelo\ Húmedo}$$

- Utilizando la probeta graduada se añade la cantidad de agua necesaria, se mezcla uniformemente utilizando la espátula y se repite el procedimiento anterior para determinar la máxima densidad de suelo seco
- Finalizados los 4 puntos, se construye la curva de compactación, en la cual se relaciona la máxima densidad de suelo seco en función de la humedad. Esta curva permitirá determinar la humedad óptima y la



densidad máxima la cual, posteriormente, será útil para obtener el grado de compactación.

### 5.1.b. Resultados Obtenidos para el Ensayo Proctor Modificado en Subrasante, Subbase Granular y Base Granular.

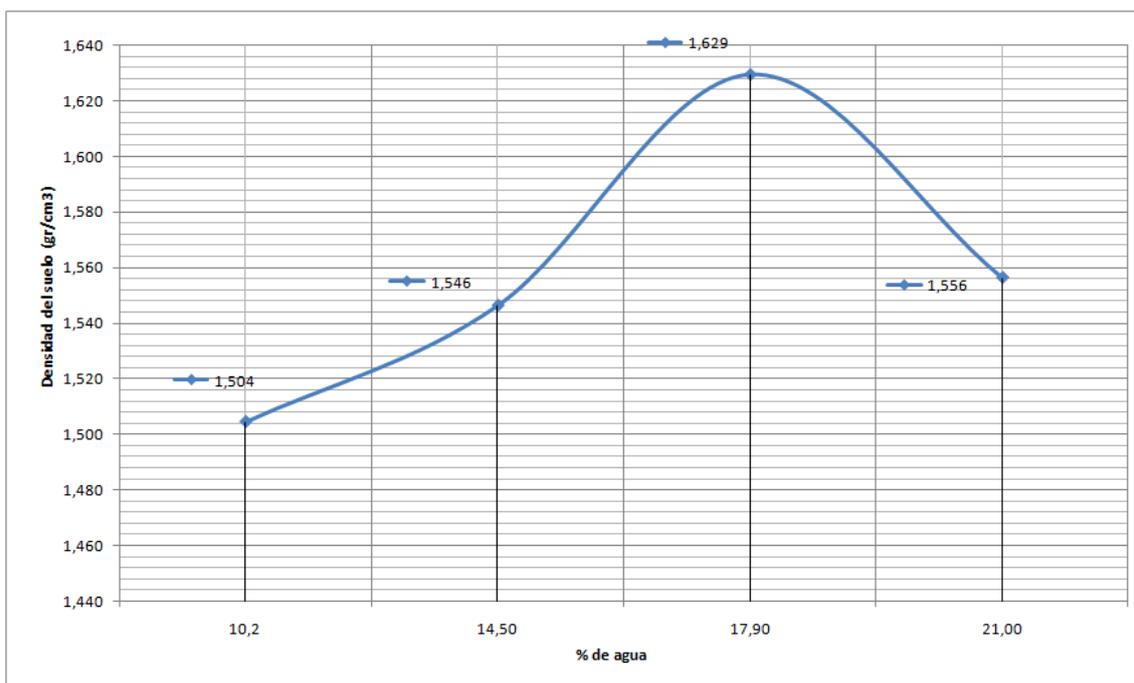
En esta sección se muestran las tablas de trabajo y las curvas de compactación correspondientes a cada uno de los estratos.

- Resultados del Ensayo Proctor Modificado para Subrasante

Muestra N° 1:

Muestra No	% aprox. agua	Peso suelo y molde	Peso molde	Peso suelo	Volumen molde	Densidad de suelo		Observaciones
	%	gr.	gr.	gr.	cm <sup>3</sup>	Húmedo gr/cm <sup>3</sup>	Seco gr/cm <sup>3</sup>	
1	10,2	4518	2943	1575	950	1,658	1,504	C.S/n VN-E5-95 25 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=101,6mm
2	14,50	4625	2943	1682	950	1,771	1,546	
3	17,90	4768	2943	1825	950	1,921	1,629	
4	21,00	4732	2943	1789	950	1,883	1,556	

TABLA 5.1.2 – Resultados ensayo Proctor para Subrasante





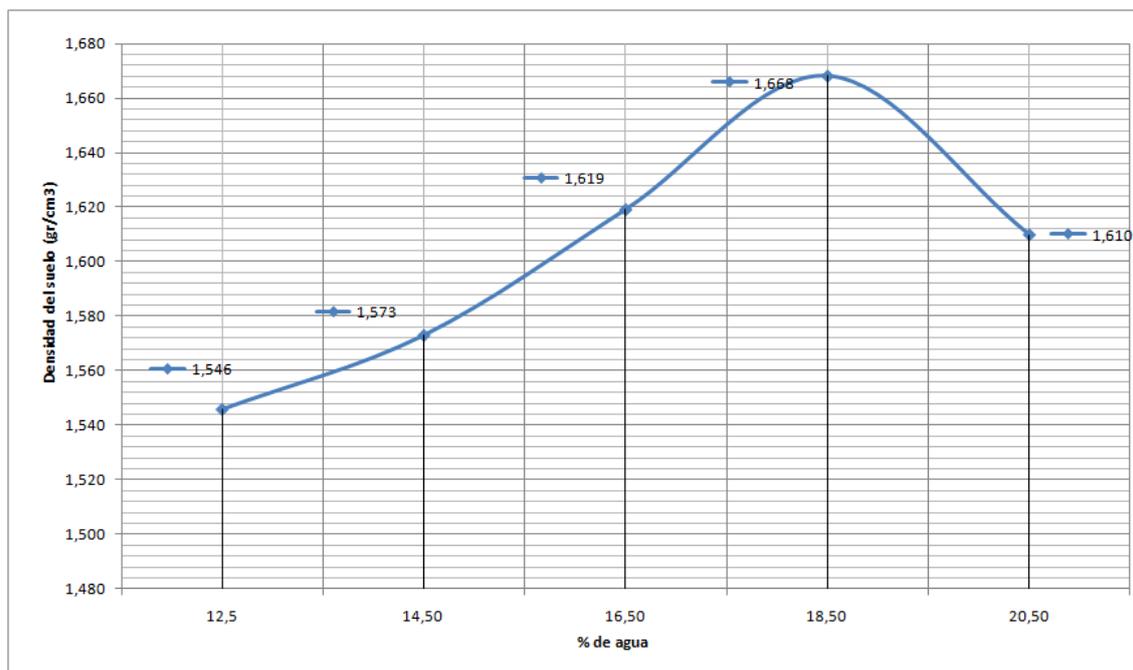
PROG. DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO SUB-RASANTE	
DENSIDAD MAX:	1,629
HUM OPTIMA:	17,90%

TABLA 5.1.3 - Resultados ensayo Proctor para Subrasante

Muestra N° 2:

Muestra No	% aprox. agua	Peso suelo y molde	Peso molde	Peso suelo	Volumen molde	Densidad de suelo		Observaciones
	%	gr.	gr.	gr.	cm3	Húmedo gr/cm3	Seco gr/cm3	
1	12,5	4595	2943	1652	950	1,739	1,546	C.S/n VN-E5-95 25 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=101,6mm
2	14,50	4654	2943	1711	950	1,801	1,573	
3	16,50	4735	2943	1792	950	1,886	1,619	
4	18,50	4821	2943	1878	950	1,977	1,668	
5	20,50	4786	2943	1843	950	1,940	1,610	

TABLA 5.1.4 - Resultados ensayo Proctor para Subrasante



PROG. DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD SUB-RASANTE	
DENSIDAD MAX:	1,668
HUM OPTIMA:	18,50%

TABLA 5.1.5 - Resultados ensayo Proctor para Subrasante

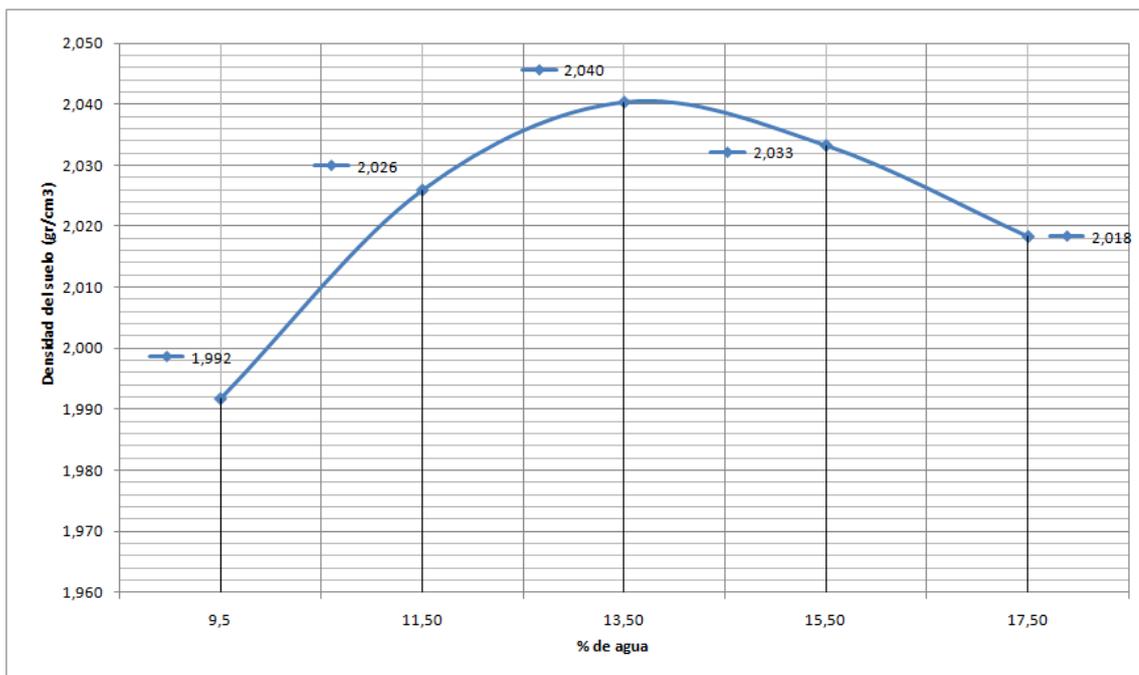


- Resultados del Ensayo Proctor Modificado para Subbase Granular

Muestra N° 1:

Muestra No	% aprox. agua %	Peso suelo y molde gr.	Peso molde gr.	Peso suelo gr.	Volumen molde cm <sup>3</sup>	Densidad de suelo		Observaciones
						Húmedo gr/cm <sup>3</sup>	Seco gr/cm <sup>3</sup>	
1	9,5	5015	2943	2072	950	2,181	1,992	C.S/n VN-E5-95 25 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=101,6mm
2	11,50	5089	2943	2146	950	2,259	2,026	
3	13,50	5143	2943	2200	950	2,316	2,040	
4	15,50	5174	2943	2231	950	2,348	2,033	
5	17,50	5196	2943	2253	950	2,372	2,018	

TABLA 5.1.6 - Resultados ensayo Proctor para Subbase Granular



<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD SUB-BASE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,04
<b>HUM OPTIMA:</b>	13,50%

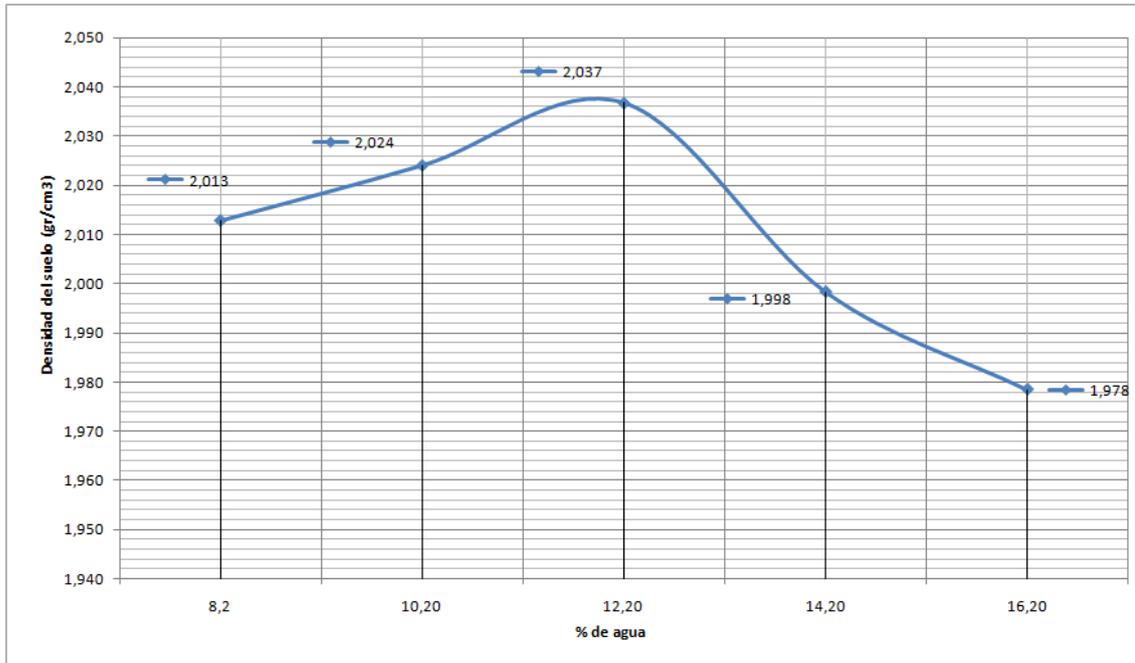
TABLA 5.1.7 - Resultados ensayo Proctor para Subbase Granular



Muestra N° 2:

Muestra No	% aprox. agua	Peso suelo y molde	Peso molde	Peso suelo	Volumen molde	Densidad de suelo		Observaciones
	%	gr.	gr.	gr.	cm3	Húmedo gr/cm3	Seco gr/cm3	
1	8,2	5012	2943	2069	950	2,178	2,013	C.S/n VN-E5-95 25 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=101,6mm
2	10,20	5062	2943	2119	950	2,231	2,024	
3	12,20	5114	2943	2171	950	2,285	2,037	
4	14,20	5111	2943	2168	950	2,282	1,998	
5	16,20	5127	2943	2184	950	2,299	1,978	

**TABLA 5.1.8 - Resultados ensayo Proctor para Subbase Granular**



<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO SUB-BASE</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,037
<b>HUM OPTIMA:</b>	12,20%

**TABLA 5.1.9 - Resultados ensayo Proctor para Subbase Granular**

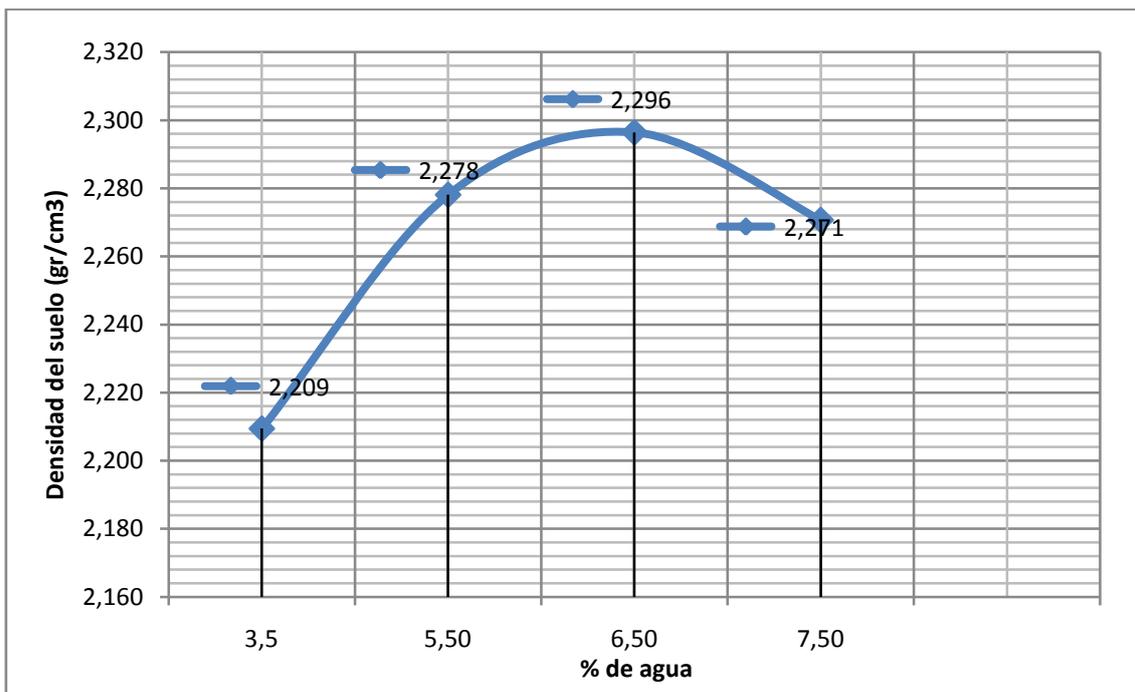


- Resultados del Ensayo Proctor Modificado para Base Granular

Muestra N° 1:

Muestra No	% aprox. agua	Peso suelo y molde	Peso molde	Peso suelo	Volumen molde	Densidad de suelo		Observaciones METODO V
	%	gr.	gr.	gr.	cm3	Húmedo gr/cm3	Seco gr/cm3	
1	3,5	9947	5083	4864	2127	2,287	2,209	C.S/n VN-E5-95 56 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=152,4mm
2	5,50	10195	5083	5112	2127	2,403	2,278	
3	6,50	10285	5083	5202	2127	2,446	2,296	
4	7,50	10275	5083	5192	2127	2,441	2,271	

TABLA 5.1.10 - Resultados ensayo Proctor para Base Granular



<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO EL RECREO, BASE GRANULAR</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,296
<b>HUM OPTIMA:</b>	6,50%

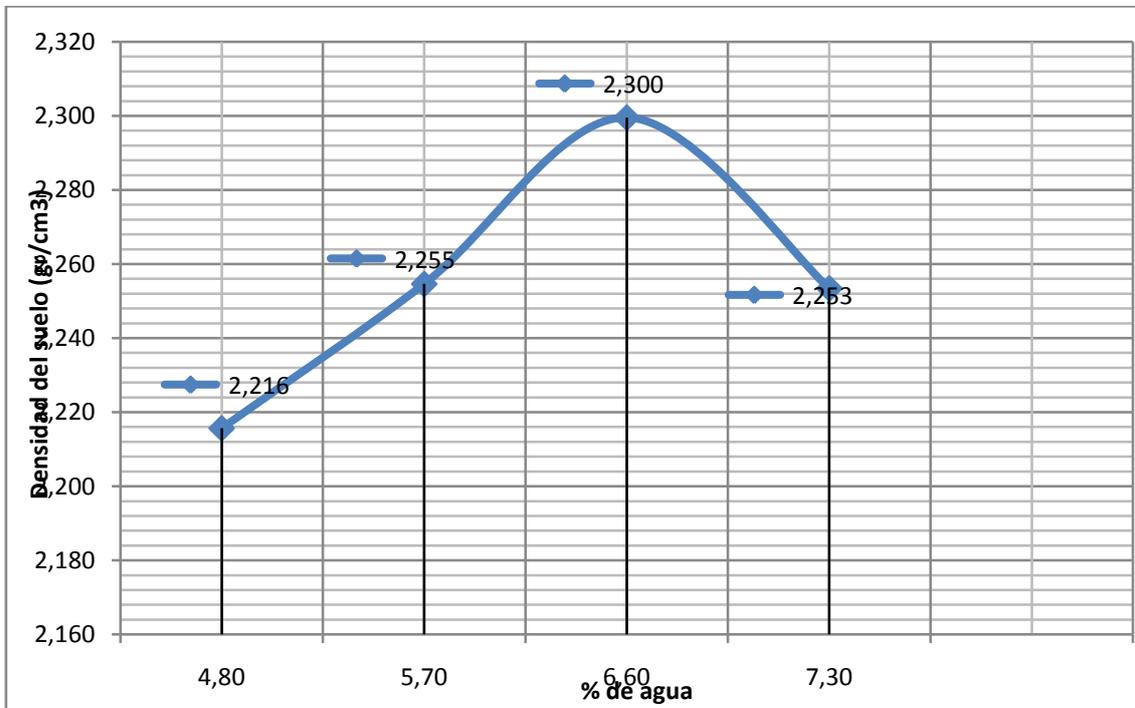
TABLA 5.1.11 - Resultados ensayo Proctor para Base Granular



Muestra N° 2:

Muestra No	% aprox. agua	Peso suelo y molde	Peso molde	Peso suelo	Volumen molde	Densidad de suelo		Observaciones METODO V
	%	gr.	gr.	gr.	cm3	Húmedo gr/cm3	Seco gr/cm3	
1	4,80	10022	5083	4939	2127	2,322	2,216	C.S/n VN-E5-95 56 golpes p/capa 5 capas pisón:4,53kg Alt. Caída: 45,7cm Diám. Mol=152,4mm
2	5,70	10152	5083	5069	2127	2,383	2,255	
3	6,60	10297	5083	5214	2127	2,451	2,300	
4	7,30	10226	5083	5143	2127	2,418	2,253	

**TABLA 5.1.12 - Resultados ensayo Proctor para Base Granular**



<b>PROG. DE EXTRACCION DE MUESTRA: BARRIO LA AMISTAD, BASE GRANULAR</b>	
<b>DENSIDAD MAX:</b>	2,3
<b>HUM OPT.:</b>	6,60%

**TABLA 5.1.13 - Resultados ensayo Proctor para Base Granular**



### 5.1.c. Control de la Curva Granulométrica para Base Granular

En principio, cabe aclarar que solo se ha realizado el ensayo para el material constitutivo de la base granular, omitiendo la subbase, puesto que la función de esta última es de menor importancia.

El análisis de la curva granulométrica consiste en tomar una muestra representativa en obra (10 kg aproximadamente), secarla en horno y tamizarla mediante una serie de cribas indicadas en la norma IRAM 1501 – Parte II. Esta norma proporciona dos curvas teóricas, las cuales constituyen límites admisibles para la curva correspondiente al material analizado. A continuación, se presenta la TABLA 5.1.14, en la cual pueden observarse los datos necesarios para trazar dichas curvas.

TAMIZ	% Pasante Acumulado	
	CURVA A	CURVA C
1"	70	100
3/4"	60	90
3/8"	45	75
4	30	60
10	20	50
40	10	30
200	3	10

**TABLA 5.1.14 – Curvas Límites Norma IRAM 1501**

El procedimiento consiste simplemente en utilizar los tamices indicados en la tabla para procesar la muestra, calcular los porcentajes pasantes acumulados en peso en cada tamiz, y trazar finalmente la curva en un sistema de ejes, en el cual se muestren también las curvas teóricas A y C. La aceptación del material estará condicionada al hecho de que su curva granulométrica correspondiente se encuentre comprendida entre los límites máximo y mínimo facilitados por la norma. En la tabla siguiente tabla puede observarse el ensayo realizado sobre tres muestras diferentes, tomadas en distintas etapas. Posteriormente, se presenta la FIGURA 5.1.1, en la cual se muestran las curvas teóricas y las resultantes del ensayo. Puede verse que la granulometría del material de base es adecuada.



Tamices Retiene o Pasa	Tamices	BASE EL RECREO		Tamices	BASE LA AMISTAD		Tamices	BASE AV.PARQUE		LIMITES ENTORNOS PLIEG	
		Gramos	%		Gramos	%		Gramos	%	MINIMO	MAXIMO
		9154			9531			10026			
Peso Total		9154			9531			10026		MINIMO	MAXIMO
1 1/2	R	0			0			0			
	P	9154	100,0%		9531	100,0%		10026	100,0%	100,00%	100,00%
1	R	612			594			784			
	P	8542	93,3%		8937	93,8%		9242	92,2%	70,00%	100,00%
3/4	R	521			612			695			
	P	8021	87,6%		8325	87,3%		8547	85,2%	60,00%	90,00%
3/8	R	1688			1612			1738			
	P	6333	69,2%		6713	70,4%		6809	67,9%	45,00%	75,00%
4	R	1598			1608			1684			
	P	4735	51,7%		5105	53,6%		5125	51,1%	30,00%	60,00%
10	R	1000	338	1000	315		1000	364			
	P		662	34,2%		685	36,7%		636	32,5%	50,00%
40	R		312			342			402		
	P		350	18,1%		343	18,4%		234	12,0%	30,00%
200	R		164			178			149		
	P		186	9,6%		165	8,8%		85	4,3%	3,00%
L. Liquido											
L. Plástico											
I. Plástico											
		%HUM	5,9	%HUM=	6,4	%HUM=	6,7				
Operador		BUSTOS DANIEL		BUSTOS DANIEL		BUSTOS DANIEL					
Fecha		15-jul-13		9-ago-13		26-ago-13					

**TABLA 5.1.15 – Análisis Granulométrico Base Granular**

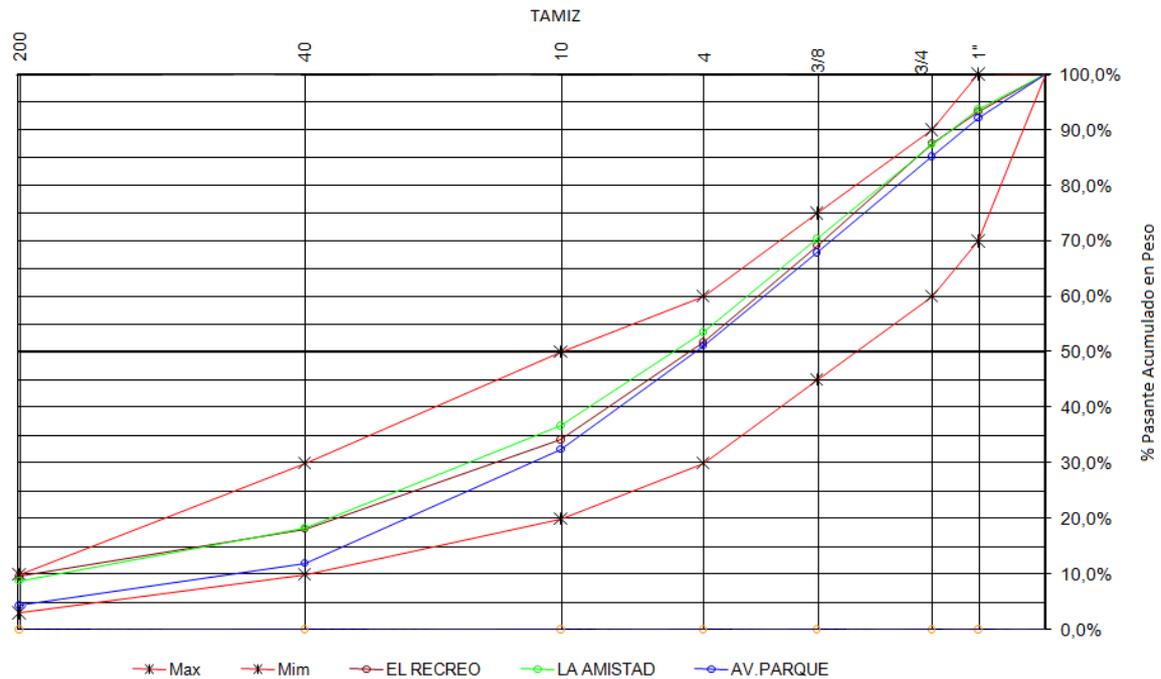


FIGURA 5.1.1 – Curvas Granulométricas Resultantes

#### 5.1.d. Evaluación de densidades de suelos compactados mediante el Método de la Arena (o Método del Cono de Arena)

Este procedimiento constituye una manera sencilla de determinar la densidad de un estrato para obtener así el grado de compactación. Se ha aclarado anteriormente que dicho parámetro se utiliza para evaluar la calidad del trabajo realizado, y representa un factor de comparación determinante para el rechazo ó aceptación de la tarea.

Se describe inicialmente el procedimiento del método en términos generales; complementando la explicación con imágenes tomadas en obra.

El equipo de laboratorio a utilizar para la realización del ensayo comprende los siguientes elementos:



Para la calibración de los equipos:

- ✓ Cono de densidad convencional.
- ✓ Vidrio de 20x20 cm (para calibrar depósito).
- ✓ Arena normalizada de ensaye
- ✓ Depósito para calibración de arena.
- ✓ Balanza (20 kg)
- ✓ Termómetro.
- ✓ Regla metálica para enrase.
- ✓ Brocha.
- ✓ Placa base.

Para terreno:

- ✓ Pala (para despejar)
- ✓ Maza y Cincel
- ✓ Pala jardinera o cucharón.
- ✓ Brocha.
- ✓ Ruleta de medición.
- ✓ Placa base.
- ✓ Cono de densidad.
- ✓ Bolsas o recipientes.
- ✓ Arena Normalizada (8 kg aproximadamente)

Para la determinación de resultados finales en laboratorio:

- ✓ Equipo de secado (horno  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$ ).
- ✓ Balanza (20 kg).
- ✓ Recipiente pequeño.
- ✓ Vidrio acorde al tamaño del recipiente.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Platillo o bandeja.



#### 5.1.d.I Procedimiento de calibración de la arena de ensayo

Se coloca el depósito limpio y seco sobre una superficie firme y horizontal como una mesa estable (lo ideal contiguo a la balanza). Se llena el depósito con agua a temperatura ambiente y se enrasa con una placa de vidrio, para eliminar burbujas de aire y el exceso de agua. Se pesa en la balanza el recipiente con el agua y el vidrio, para que no se derrame. Se anota la masa total, para después descontar la masa del vidrio y del recipiente, y así determinar el peso de agua que llena el depósito. Puede obtenerse entonces la capacidad volumétrica del de dicho depósito, como la relación entre el peso de agua almacenado en el mismo, y la densidad del agua a la temperatura correspondiente. En general, se conoce el valor de la densidad del agua a una temperatura de 20 °C. Para valores diferentes, debe efectuarse una corrección, a partir de la siguiente tabla:

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
8	0,9999
9	0,9998
10	0,9997
11	0,9996
12	0,9995
13	0,9994
14	0,9993
15	0,9991
16	0,9990
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9976
24	0,9973
25	0,9971
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9963

**TABLA 5.1.14 – Corrección de la densidad del agua en función de la temperatura**



Posteriormente, debe determinarse la densidad aparente de la arena ensayada.

Para ello se coloca el depósito limpio y seco en una superficie plana, firme y horizontal como el piso; se ubica sobre él la placa base y se posiciona el aparato de densidad sobre dicha placa. Se llena el aparato de densidad con la arena de ensaye, evitando cualquier derrame de ésta. Se abre la válvula y se mantiene abierta hasta que la arena deje de fluir. Se retira el aparato de densidad, la placa base y el exceso de arena. Se enrasa cuidadosamente con una regla metálica, evitando producir vibración. Una vez efectuado el enrase, se asienta la arena dando golpes suaves en el manto del depósito. Se determina la masa de arena que lleva el depósito ( $m_A$ ), aproximando a 1 g. Esto se efectuará 5 veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,5%, respecto de la medida aritmética de ellas. Si esto no se cumple se debe repetir el ensayo. Se determina y registra la densidad aparente de la arena expresando el resultado en  $\text{grs}/\text{cm}^3$ , con una aproximación de dos decimales.

#### 5.1.d.II Determinación de la densidad del suelo en el terreno

Se selecciona el lugar para efectuar el ensayo. Se prepara la superficie del punto a controlar, nivelándola o emparejándola y quitando el material vegetal que hubiere, para conseguir un buen asentamiento de la placa. Se coloca la placa base sobre la superficie nivelada y se procede a excavar dentro de la abertura de la misma, iniciando la excavación con un diámetro menor (desde el centro) y afinando luego hacia los bordes. La profundidad de la excavación debe ser similar al espesor de la capa bajo control.

Al ejecutar la excavación se debe tener cuidado de no alterar las paredes del suelo que delimitan la perforación, especialmente cuando predominan partículas que al sacarlas pueden desmoronar los costados, cambiando la geometría de la perforación. Si esto ocurriese, se deberá repetir el procedimiento. Se coloca todo el suelo excavado en un envase o bolsa resistente, el cual debe cerrar herméticamente para conservar la humedad del suelo y evitar posibles pérdidas de material o contaminación, con un señalador que indique las condiciones de la muestra (lugar, fecha, material, hora, etc.).



Se lleva a terreno la arena, determinada y registrada la masa del aparato de densidad con el total de arena, aproximando a 1 gr.

Se asienta el aparato de densidad sobre la placa, se abre la válvula y se cierra una vez que la arena ha dejado de fluir.

De este modo, se determina y registra la masa del dispositivo mas la arena remanente, lo que permitirá obtener la masa de arena que ocupa el orificio y el cono inferior. Es decir:

$$M_p = M_1 - M_2$$

Con:

- $M_p$ : Masa de arena que ocupa el cono inferior y el orificio
- $M_1$ : Masa total; suma de la masa del aparato y la cantidad de arena inicial
- $M_2$ : Masa remanente; suma de la masa del aparato y la cantidad de arena remanente

Luego, podrá determinarse el volumen del orificio como:

$$V_o = V_p - V_i$$

Donde:

- $V_o$ : Capacidad volumétrica del orificio
- $V_p$ : Volumen de arena que ocupa el orificio y el cono inferior, determinado como la relación entre  $M_p$  y la densidad aparente de la arena, previamente determinada
- $V_i$ : volumen del cono inferior, determinado en el proceso de calibración de la arena.



### 5.1.d.III Cálculos a efectuar en laboratorio

Conociendo el volumen del orificio, podrá determinarse la densidad del suelo compactado.

Para ello se pesa la muestra obtenida en campo, se registra el resultado. Luego se seca la misma en horno, hasta evaporar la totalidad de agua, y se determina el contenido de humedad correspondiente, a través de la siguiente expresión:

$$H\% = \frac{W_{\text{Suelo Húmedo}} - W_{\text{Suelo Seco}}}{W_{\text{Suelo Seco}}} \times 100$$

De ese modo, puede obtenerse la densidad de suelo seco, como sigue:

$$\gamma_{\text{Suelo Seco}} = \frac{\gamma_{\text{Suelo Húmedo}}}{1 + H\%}$$

Finalmente, el grado de compactación será:

$$G_c = \frac{\gamma_{\text{Suelo Seco (campo)}}}{\gamma_{\text{Suelo Seco (Proctor)}}$$

Las siguientes imágenes muestran la tarea realizada en campo:



**IMAGEN 5.1.1 – Método de la Arena**



**IMAGEN 5.1.2 – Método de la Arena**



**IMAGEN 5.1.3 – Método de la Arena**



**IMAGEN 5.1.4 – Método de la Arena**

IMAGEN 5.1.1: Confección del orificio con maza y cincel. Puede observarse también el plato metálico.

IMAGEN 5.1.2: Perfilado de las paredes del orificio; se repasan los laterales con cincel para lograr el desprendimiento de material.

IMAGEN 5.1.3: Posicionamiento del cono de arena y apertura de la válvula de paso. La válvula debe permanecer abierta hasta que la caída de arena cese en su totalidad.

IMAGEN 5.1.4: Retiro del cono para la determinación de los pesos remanentes. El material sobrante puede ser recuperado, tamizado y reutilizado.

La TABLA 5.1.16, muestra la planilla final de control de calidad correspondiente a subrasante; se presenta dicha planilla a modo de ejemplo; las referentes a subbase y base granular son totalmente análogas.



Progresiva	Base Sub Base Sub Rasante Base de Asiento	Peso Arena del Recipiente (gr)	Peso Arena remanente ( gr )	Peso Arena Cono	Peso Arena Agujero (gr)	Densidad Arena Normalizada ( gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen del Pozo (cm <sup>3</sup> )	Peso del Material del Pozo (Húmedo ) ( gr )	Densidad Húmeda(gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad ( % )	Densidad Seca ( gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Proctor (gr/cm <sup>3</sup> )	Grado de compactación (%)	Exigencia
CALLE 10S	SUB-RASANTE	6000	1086	1525	3389	1,422	2383	4449	1,867	17,2	1,593	1,629	97,8	95
CALLE 4		6000	1068	1538	3394	1,422	2387	4326	1,812	13,2	1,601	1,629	98,3	95
CALLE 8		6000	1162	1539	3299	1,422	2320	4431	1,910	17,6	1,624	1,629	99,7	95
CALLE 12		6000	1178	1541	3281	1,422	2307	4321	1,873	16,9	1,602	1,629	98,3	95
CALLE 15		6000	1057	1529	3414	1,422	2401	4581	1,908	19,7	1,594	1,629	97,9	95
CALLE 13		6000	1254	1536	3210	1,422	2257	4215	1,867	16,9	1,597	1,629	98,1	95
CALLE 12		6000	1165	1541	3294	1,422	2316	4325	1,867	18,2	1,580	1,629	97,0	95
CALLE 11		6000	1074	1535	3391	1,422	2385	4374	1,834	17,0	1,568	1,629	96,3	95
CALLE 10N		6000	1205	1537	3258	1,422	2291	4465	1,949	22,9	1,586	1,629	97,3	95
CALLE 15		6000	1195	1529	3276	1,422	2304	4315	1,873	17,2	1,598	1,629	98,1	95
CALLE 14A		6000	1087	1542	3371	1,422	2371	4458	1,881	17,6	1,599	1,629	98,2	95
CALLE 14B		6000	1124	1534	3342	1,422	2350	4512	1,920	21,9	1,575	1,629	96,7	95
CALLE 15		6000	1187	1532	3281	1,422	2307	4439	1,924	21,0	1,590	1,668	95,3	95
CALLE 16		6000	1212	1541	3247	1,422	2283	4471	1,958	21,0	1,618	1,668	97,0	95
CALLE 4		6000	1074	1539	3387	1,422	2382	4612	1,936	20,4	1,608	1,668	96,4	95
CALLE 18S		6000	1093	1547	3360	1,422	2363	4671	1,977	20,3	1,643	1,668	98,5	95
CALLE 15		6000	1250	1529	3221	1,422	2265	4415	1,949	21,1	1,610	1,668	96,5	95
CALLE 13		6000	1138	1528	3334	1,422	2345	4626	1,973	20,2	1,641	1,668	98,4	95
CALLE 11		6000	1164	1540	3296	1,422	2318	4571	1,972	20,1	1,642	1,668	98,4	95
CALLE 20		6000	1247	1531	3222	1,422	2266	4387	1,936	18,3	1,637	1,668	98,1	95
CALLE 18N		6000	1249	1537	3214	1,422	2260	4328	1,915	18,1	1,621	1,668	97,2	95
AV. DEPORTE A		6000	1158	1541	3301	1,422	2321	4469	1,925	17,6	1,637	1,668	98,1	95
AV. DEPORTE B		6000	1169	1539	3292	1,422	2315	4515	1,950	18,4	1,647	1,668	98,8	95
AV. DEPORTE C		6000	1244	1532	3224	1,422	2267	4419	1,949	18,9	1,639	1,668	98,3	95
AV. DEPORTE D		6000	1184	1532	3284	1,422	2309	4573	1,980	19,9	1,651	1,668	99,0	95
AV. DEPORTE E		6000	1178	1533	3289	1,422	2313	4356	1,883	18,4	1,591	1,668	95,4	95
AV PARQUE SA		6000	1152	1542	3306	1,422	2325	4397	1,891	17,1	1,615	1,668	96,8	95
AV PARQUE SB		6000	1084	1534	3382	1,422	2378	4567	1,920	20,1	1,599	1,668	95,9	95
AV PARQUE SC		6000	1236	1532	3232	1,422	2273	4411	1,941	20,8	1,607	1,668	96,3	95
AV PARQUE SD		6000	1147	1541	3312	1,422	2329	4567	1,961	19,9	1,635	1,668	98,0	95
AV PARQUE SE		6000	1124	1539	3337	1,422	2347	4622	1,970	20,2	1,639	1,668	98,2	95
AV PARQUE NA		6000	1035	1535	3430	1,422	2412	4621	1,916	17,3	1,633	1,668	97,9	95
AV PARQUE NB		6000	1251	1540	3209	1,422	2257	4402	1,951	17,5	1,660	1,668	99,5	95
AV PARQUE NC		6000	1167	1532	3301	1,422	2321	4483	1,931	18,1	1,635	1,668	98,0	95
AV PARQUE ND		6000	1192	1533	3275	1,422	2303	4475	1,943	16,9	1,662	1,668	99,6	95
AV PARQUE NE		6000	1205	1537	3258	1,422	2291	4495	1,962	18,5	1,656	1,668	99,3	95

**TABLA 5.1.16 – Resultados finales Método de la Arena**

5.1.e. Evaluación de Densidades mediante el uso del Densímetro Nuclear



**IMAGEN 5.1.5 – Densímetro Nuclear**

Este dispositivo consiste en un equipo portátil que emite radiación ionizante y que se utiliza para medir la humedad y densidad de suelos bases, hormigón y asfalto. En la IMAGEN 5.1.5 se muestra un aparato convencional de este tipo.

Evidentemente la principal ventaja de este equipo consiste en la posibilidad de evaluar la densidad de un estrato de manera considerablemente más rápida, sin necesidad de efectuar cálculos en laboratorio.



No obstante, debe tenerse en cuenta que este dispositivo constituye una fuente de radiación nuclear, de modo que resulta mucho más riesgoso su uso respecto al del cono de arena. También, las condiciones de almacenamiento son notablemente más estrictas, como así también las medidas de seguridad en la operación. Esto conlleva a una serie de desventajas adicionales, como por ejemplo la necesidad de depósitos que deben cumplir condiciones específicas de seguridad, requerimientos de mano de obra más calificada, etc.

Este dispositivo no ha sido utilizado en este caso.

## **5.2. Control de Calidad en el Hormigón**

Como se ha indicado en la sección 4.6, aquí se hará referencia al control del Hormigón endurecido. En este caso, estas tareas también se encuentran a cargo de la empresa proveedora del material. Se ha utilizado Hormigón H-25 (resistencia nominal 25 MPa).

El hormigón endurecido debe presentar las propiedades y características para las que fue diseñado, es decir, debe ser resistente, durable, con baja deformación y económico. Los hormigones resistentes son también más durables, por lo que el control de calidad se reduce, por lo común, a la evaluación de la resistencia del hormigón endurecido.

### **5.2.a Definiciones Básicas**

La resistencia a los esfuerzos mecánicos representa la calidad del hormigón y se emplea para definir las distintas clases: H21, H30, etc (CIRSOC 201, Tomo1). El resultado de un ensayo de resistencia podría definirse como la media (o promedio) entre valores individuales de los ensayos de las probetas que pertenecen al mismo pastón, efectuados a la misma edad, y es el que informan los laboratorios.

Pero desde el punto de vista del proyectista de estructuras, no es posible compensar valores bajos con valores altos, dado que las estructuras se comportan como una cadena, es decir, rompen por el eslabón más débil. Es por esto que se definen otras resistencias con significados diferentes, más útiles desde el punto de vista estructural.



A continuación, se definen algunos tipos de resistencia, aplicando conceptos estadísticos.

Valor de un ensayo de resistencia: es el valor promedio del resultado de ensayo de al menos dos probetas (mejor tres) del mismo pastón.

Resistencia media: es el promedio (media aritmética) de los resultados de ensayos obtenidos sobre distintos pastones para un hormigón de una clase dada. Es decir, no se pueden promediar los resultados de ensayo de hormigones diferentes. Se la designa con  $f'_{cm}$ .

Resistencia característica: es un valor estadístico que corresponde a aquella resistencia que tiene una probabilidad del 95% de ser superada por los resultados de ensayo de una clase dada de hormigón. Se la designa con  $f'_{ck}$ .

Resistencia mínima: es un valor arbitrario (se fija en las especificaciones) que debe ser superado por todos los resultados de ensayo correspondientes al hormigón de cada clase.

Resistencia potencial del hormigón: aquélla que se obtiene al ensayar probetas que fueron coladas, compactadas, curadas y ensayadas de acuerdo con lo establecido por las normas vigentes (IRAM 1524, 1534 y 1546).

Resistencia efectiva: es la que presenta el material en la estructura y, generalmente, no es igual a la resistencia potencial debido a las diferentes condiciones de forma, curado, compactación, efectos de segregación, tensiones laterales, presencia de armaduras, etc.

En este caso, se extraen testigos de la estructura y se ensayan según norma IRAM 1551. La evaluación de la calidad del hormigón puede realizarse mediante el ensayo a la compresión, tracción indirecta o flexotracción sobre probetas moldeadas con muestras de hormigón fresco y curado por inmersión hasta la edad de ensayo.

Para determinar la resistencia efectiva del hormigón del pavimento debe procederse a la extracción de testigos calados y someterlos a la compresión o tracción indirecta en condiciones de saturación.

Si bien algunos estudios han demostrado que no hay una buena correlación entre la resistencia del hormigón definida como potencial por



normas y la resistencia efectiva de la estructura, si puede asegurarse que con una correcta colocación, compactación y curado del hormigón existe una alta probabilidad que el material se comporte en forma similar al de las probetas.

#### 5.2.b Tipos de Control

El control de calidad aplicado a pavimentos se divide en dos grupos principales:

##### 5.2.b.I. *Controles rutinarios durante su ejecución*

Estos controles se emplean para comprobar la calidad de los materiales componentes y verificar que se cumplen las especificaciones de obra.

Son útiles para detectar posibles deficiencias que puedan afectar la calidad del pavimento, de modo de corregirlas a tiempo. Este control está a cargo del subcontratista que elabora el hormigón fresco, y constituye lo que se denomina "autocontrol".

Dentro de este grupo se incluyen los controles previos para evaluar las características de los materiales componentes del hormigón y el proceso de dosificación y ajuste técnico y económico de mezclas de acuerdo con las exigencias del contrato.

##### 5.2.b.II. *Controles para recepción y pago de obras*

En general, son realizados por el Comitente o por profesionales que lo representen, de modo de asegurar la aleatoriedad en el procedimiento de extracción de muestras y garantizar la representatividad de los resultados obtenidos. Su objetivo es obtener valores cuantitativos de la calidad lograda y comprobar que las variables que se controlan se mantienen dentro de los rangos admitidos por las tolerancias del contrato. En caso contrario, se puede decidir que se procede a su corrección, a la aplicación de multas o, en caso extremo, el rechazo de esa porción de obra.

Estos controles se aplican tanto durante la ejecución del pavimento como al producto terminado. A modo de ejemplo puede citarse la temperatura del hormigón fresco en el momento de la colocación, la resistencia a la compresión evaluada sobre testigos calados o los controles de espesores y lisura.



### 5.2.c. Control de la calidad del Hormigón a través de la resistencia potencial

El moldeo de probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura para determinar la resistencia a la compresión se emplea para verificar que la mezcla cumple con la especificación del contrato. Si se evalúan resultados a corta edad (7 días), pueden adoptarse medidas correctivas sin necesidad de esperar los 28 días usuales.

Aún cuando las especificaciones del contrato no exijan este tipo de ensayos, deben realizarse pues constituye una herramienta eficaz para el autocontrol.

El procedimiento de moldeo y compactación debe realizarse de acuerdo con las normas IRAM respectivas y el curado será normalizado, por inmersión en agua saturada con cal. Es prudente destacar que si el hormigón fresco tiene un asentamiento menor de 5 cm, deben emplearse vibradores de inmersión para su compactación. El ensayo propiamente dicho se realizará sobre probetas saturadas y el resultado de ensayo será el promedio de al menos dos probetas del mismo pastón por edad. Si se desea verificar la resistencia a la flexotracción, se debe proceder al moldeo de probetas prismáticas, recomendándose el uso de moldes metálicos de 150 mm x 150 mm x 550 mm. Las precauciones en la compactación y el curado son idénticas a las indicadas para las probetas cilíndricas.

El control del hormigón endurecido realizado en obra, a cargo del director técnico, incluyó fundamentalmente la observación de la terminación superficial, control de niveles, disposición de juntas, evaluación respecto a la presencia de fisuras, etc.



## CAPÍTULO 6. Certificación de Obra

La certificación constituye el medio a través del cual el Comitente paga al Contratista, de manera periódica, el trabajo realizado hasta el momento. En este caso, se tiene un contrato por unidad de medida, de manera que para la confección del certificado debe efectuarse la medición de cada uno de los ítems desarrollados en el período. La certificación se realiza aquí en forma quincenal.

### 6.1. Estructura y contenido del certificado

Básicamente, un certificado de obra contiene todos los ítems a realizar, acompañados de sus cantidades totales ejecutadas al momento del cierre de certificado y precios unitarios, lo que permite calcular el monto de dinero correspondiente al período de análisis.

Para facilitar la descripción del contenido, se presenta modo de ejemplo la TABLA 6.1.1, correspondiente a la Certificado N° 9.

En la misma pueden observarse 13 filas horizontales, cada una de las cuales corresponde a un ítem de obra. En las columnas se indica:

- N° de ítem
- Descripción
- Unidad de medida del ítem
- Cantidad total prevista en el contrato
- Precio unitario sin IVA
- Totales contrato
- Incidencia sobre total
- Cantidad (certificado acumulado, certificado anterior, certificado actual)
- Importe (certificado acumulado, certificado anterior, certificado actual)
- Avance porcentual



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES – UNC  
 INFORME TÉCNICO FINAL – PRÁCTICA SUPERVISADA

ITEM	DESCRIPCION	Unid.	CANT CONTRAT	PRECIO UNITARIO	TOTALES CONTRATO	INCIDENCIA SOBRE	CANTIDAD			IMPORTES SIN IVA			AVANCE % ITEM
							ACTUAL	ANTERIOR	ACUMUL.	ACTUAL	ANTERIOR	ACUMULADO	
1	Limpieza de terreno zona de camino	m2	34 157,76	\$ 2,27	\$ 77.499,51	1,60%	1263,540	32893,590	34157,130	\$ 2.866,81	\$ 74.631,27	\$ 77.498,08	100,00%
2	Desmante incluido transporte lateral	m3	16 491,39	\$ 29,43	\$ 485.407,24	10,00%	0,000	16491,390	16491,390	\$ 0,00	\$ 485.407,35	\$ 485.407,35	100,00%
3	Carpeta asfáltica 0,05	tn	2 156,66	\$ 526,91	\$ 1.136.376,60	23,41%	0,000	0,000	0,000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	0,00%
4	Riego de liga	m2	17 605,41	\$ 2,03	\$ 35.711,52	0,74%	0,000	0,000	0,000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	0,00%
5	Imprimación	m2	17 605,41	\$ 4,08	\$ 71.845,67	1,48%	0,000	0,000	0,000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	0,00%
6	Base granular 0,12 m	m3	2 668,90	\$ 185,19	\$ 494.249,95	10,18%	138,220	887,540	1025,760	\$ 25.596,80	\$ 164.362,50	\$ 189.959,30	38,43%
7	Sub Base (80-20) 15 cm de espesor	m3	4 089,86	\$ 85,85	\$ 351.110,93	7,23%	0,000	4089,860	4089,860	\$ 0,00	\$ 351.110,91	\$ 351.110,91	100,00%
8	Preparación Subrasante 0,15m	m2	27 265,74	\$ 6,75	\$ 183.915,25	3,79%	0,000	27265,850	27265,850	\$ 0,00	\$ 183.916,03	\$ 183.916,03	100,00%
9	Cordón cuneta 0,90 m2/ml	ml	6 079,72	\$ 163,39	\$ 993.366,93	20,46%	413,460	2237,980	2651,440	\$ 67.555,33	\$ 365.664,10	\$ 433.219,43	43,61%
10	Bocacalle H° espesor 0,18 m y bajadas de laguna	m3	854,96	\$ 1.020,57	\$ 872.550,71	17,97%	104,320	469,170	573,490	\$ 106.465,87	\$ 478.820,88	\$ 585.286,76	67,08%
12	Desmante laguna incluido Dist de Transporte no mayor a 500m	m3	4 508,07	\$ 33,11	\$ 149.276,67	3,07%	0,000	4508,070	4508,070	\$ 0,00	\$ 149.276,78	\$ 149.276,78	100,00%
13	Cañería de PVC 200mm indicada en planos de laguna de retardo	m	16,40	\$ 200,75	\$ 3.292,32	0,07%	0,000		0,000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	0,00%
<b>Total:</b>					<b>\$ 4.854.603,31</b>					<b>\$ 202.484,81</b>	<b>\$ 2.253.189,82</b>	<b>\$ 2.455.674,63</b>	
									<b>Docto. Ant.</b>	<b>32,00%</b>	<b>\$ -64.795,14</b>	<b>\$ -721.020,74</b>	<b>\$ -785.815,88</b>
										<b>Sub Total:</b>	<b>\$ 137.689,67</b>		
										<b>IVA 21%</b>	<b>\$ 28.914,83</b>		
										<b>Total c/IVA:</b>	<b>\$ 166.604,50</b>		

**TABLA 6.1.1 – Ejemplo de Certificado Quincenal**

En la zona inferior del documento pueden observarse 5 filas adicionales. En color azul se indica el monto total aproximado de la obra; en las celdas ubicadas a la derecha, fila superior, se muestran los montos totales brutos, correspondientes al período actual y anterior, además del monto acumulado. La segunda fila contempla el descuento proporcional de un anticipo del 32% del monto total, cuya finalidad consiste en financiar al Contratista para que el mismo pueda comenzar con la obra y solventar los gastos durante los primeros períodos. La tercera fila muestra el subtotal, es decir, el monto total bruto una vez descontado el anticipo. En la cuarta fila se determina el monto del Impuesto al Valor Agregado. Finalmente, en la última fila se muestra el valor final del certificado, el cual surge de adicionar el subtotal el valor del IVA.



## 6.2. Metodología de certificación

Llegado el momento de efectuar la certificación, debe realizarse la medición de cada uno de los ítems en los cuales se ha avanzado. Esta tarea debe llevarse a cabo bajo la supervisión del Inspector de Obra, quien será el encargado de aprobar el trabajo y el correspondiente certificado.

Posteriormente, resultará conveniente confeccionar una planilla de detalle en la cual se indiquen puntualmente los avances realizados, para calcular así las cantidades. La FIGURA 6.1.2 muestra un ejemplo de esta ficha de control, la cual puede ser totalmente modificada de acuerdo al criterio del Ingeniero de Obra o del Inspector. También es muy útil discretizar cada uno de los ítems según las calles a construir, para garantizar así que al final de la obra las cantidades ejecutadas coincidan con las estipuladas inicialmente en el certificado.

ÍTEM N°	DESCRIPCION	UD.	TRAMO	LONG.	ANCHO	ESP.	CANT. EJEC.
6	Base granular 0,12 m	M3	CALLE 11 LA AMISTAD	59,01	5,80	0,12	41,07
		M3	CALLE 4 LA AMISTAD	100,48	5,80	0,12	69,93
		M3	CALLE 18 SUR	47,24	4,80	0,12	27,21
		M3	TOTAL:				138,22
9	Cordón cuneta 0,90 m <sup>2</sup> /ml	ML	CALLE 11 LA AMISTAD	59,01			118,02
		ML	CALLE 4 LA AMISTAD	100,48			200,96
		ML	CALLE 18 SUR	47,24			94,48
		ML	TOTAL:				413,46
10	Bocacalle H° espesor 0,18 m y bajadas de laguna	M3	ESQ. 4 Y 18 SUR	188,78		0,18	33,98
		M3	ESQ 4 Y 20	201,98		0,18	36,36
		M3	ESQ 11 Y 18N	188,78		0,18	33,98
		M3	TOTAL:				104,32

**TABLA 6.2.1 – Ejemplo de Detalle de Tareas Realizadas**

De esta manera pueden determinarse las cantidades totales ejecutadas de cada ítem de obra y transcribir el valor directamente al certificado. Al hacer esto último, debe tenerse en cuenta la cantidad acumulada hasta el período inmediatamente anterior, la cual ocupará el lugar “CANTIDAD>>Anterior” en el certificado actual. Así, el valor obtenido de la planilla será el correspondiente al casillero “CANTIDAD>>Actual”, mientras que el acumulado podrá obtenerse como la suma de ambos. Resulta práctico programar la planilla de cálculo de modo tal que las operaciones se realicen de manera automática.



Finalizada la confección del certificado, el mismo debe ser emitido en tres copias y firmado por el Inspector de Obra. Una de las copias permanecerá en poder del Contratista, otra pertenecerá al Comitente y la restante deberá ser utilizada por el primero para efectuar el cobro del monto del certificado correspondiente.

### **6.3. Índices de ajuste de precios unitarios: Reconsideración de precios por el método de la fórmula polinómica o escalatoria**

#### **6.3.a. Contexto económico Actual**

El gradual aumento en los precios de los productos en general, y en particular en los insumos de la construcción, trae aparejado una pérdida en las utilidades de las empresas. Para estas que, a través de la presentación de una oferta determinada, han sido beneficiadas con la adjudicación de una obra mediante un proceso licitatorio, con el correr del tiempo la suba de precios va disminuyendo su beneficio, pudiendo llegar a anularlo, o incluso verse superado por los costos. Si así fuera la empresa debería invertir más de lo que el contratante le pagaría para poder terminar la obra que se ha comprometido a realizar. Tras la crisis del 2001, luego de la sanción de la Ley 25.561 de Emergencia Pública y Reforma del Régimen Cambiario, se estableció una metodología para la Redeterminación de los Precios de los contratos de obra pública a través del dictado del Decreto 1295/02 del P.E.N., su modificatorio, el Decreto 1953/2002 y demás normas complementarias. En ellos se establece el alcance y metodología de aplicación para llegar a redeterminar los precios de contrato. Si bien el decreto se encuentra disponible en Internet, tras la lectura del mismo comúnmente surgen algunas dudas, como ser: ¿Cómo determinar cuándo se está habilitado para solicitar la redeterminación? ¿De dónde obtener los índices de variación de precios? ¿Cuáles son y como usar esos índices de variación de precios? ¿A partir de qué momento son aplicables los precios redeterminados?



### 6.3.b. Metodología para la determinación de los índices de reajuste de precios

Para proceder al método de redeterminación de precios, en primera instancia debe contarse con los análisis de precios originales de cada ítem presentados en la oferta, la fecha de presentación de la misma, y los índices de precios publicados por el INDEC desde el mes en que se ha presentado la oferta hasta la actualidad. El Decreto 1295/02 del 19 de Julio de 2002 establece:

*“Art. 2º - Los precios de los contratos de obra pública, correspondientes a la parte faltante de ejecutar, podrán ser redeterminados a solicitud de la contratista cuando los costos de los factores principales que los componen, identificados en el Artículo 4º del presente decreto, hayan adquirido un valor tal que reflejen una variación promedio de esos precios superior en un DIEZ POR CIENTO (10%) a los del contrato, ....”*

*“Art. 4º - Los nuevos precios se determinarán ponderando los siguientes factores según su probada incidencia en el precio total de la prestación: a) El precio de los materiales y de los demás bienes incorporados a la obra. b) El costo de la mano de obra de la construcción. c) La amortización de equipos y sus reparaciones y repuestos. d) Todo otro elemento que resulte significativo a criterio del comitente...”*

De ello surgen los dos primeros interrogantes:

1) ¿Cómo determinar los factores principales que componen los precios de contrato?

2) ¿Cómo determinar en qué momento los costos de esos factores han adquirido un valor tal que reflejen una variación promedio superior a 10%?

1) Para determinar los factores principales que componen los precios de contrato el Decreto 1295/02 anexa la TABLA 6.3.1, en donde se establece



directamente el porcentaje de incidencia a considerar para los distintos insumos que se considera representativos de las distintas tipologías de obras posibles.

Por lo tanto, debe consultarse en el Pliego de Cláusulas Especiales de la obra en qué tipología se ha encuadrado a la misma, y en función de ello se tendrá resuelto el primer interrogante.

INSUMOS	I. Arquitectura		II. Viales				III. Vivienda	IV. Saneamiento y Agua Potable		V. Hidráulicas	
	1. Restauración y Reciclaje	2. Nueva de Alta y Baja Complejidad	1. Caminos	2. Puente	3. Obra Repavimentación	4. Recuperación y Mantenimiento		1. Agua Potable	2. Desagües Cloacales	1. Canalizaciones para prevención de inundaciones	2. Desagües Pluviales
A Mano de Obra	0,36	0,26	0,22	0,34	0,25	0,20	0,46	0,28	0,34	0,35	0,32
B Albañilería	0,20	0,25					0,13				
C Pisos y revestimientos	0,08	0,10					0,07				
D Carpinterías	0,07	0,07					0,12				
E Productos químicos	0,04	0,01									
F Andamios	0,04	0,02									
G Artefactos de iluminación y cableado	0,03	0,05									
H Caños PVC para instalaciones varias	0,04	0,08						0,21	0,24		
I Motores eléctricos y a/a	0,04	0,06									
J Equipo - Amortización de Equipo			0,08	0,08	0,08	0,15		0,08	0,12	0,08	0,08
K Asfaltos, combustibles y lubricantes			0,38	0,26	0,35	0,33				0,28	0,18
L Transportes			0,04	0,02	0,04						
M Aceros - Hierro aletado			0,13	0,12	0,13		0,02	0,03	0,02	0,06	
N Cemento			0,02	0,06	0,03		0,04			0,09	
O Costo financiero	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,20	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
P Gastos Generales	0,07	0,07	0,10	0,09	0,09	0,12	0,06	0,07	0,07	0,11	0,13
Q Arena							0,03				
R Artefactos para baño y grifería							0,04				
S Hormigón								0,11	0,09		0,26
T Medidores de caudal								0,09			
U Válvulas de bronce								0,05			
V Electrobombas								0,05	0,05		
W Membrana impermeab. Polietileno									0,04		
<b>TOTAL</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**TABLA 6.3.1 – Índices de ajuste para insumos de la Construcción**

2) Para determinar en qué momento los costos de esos factores han adquirido un valor tal que reflejen una variación promedio o una variación de referencia superior al 10% es que el INDEC publica mensualmente en su página web y en un Anexo al final de su revista impresa “INDEC Informa” los índices de variación de los insumos de la Tabla 6.3.1, así como también los índices de variación de varios de los materiales más comúnmente utilizados en las obras. Ahora bien, de dicha publicación deben extraerse los índices correspondientes al mes en que se ha presentado la oferta y aquellos correspondientes al mes en donde la variación de referencia supera el 10%, el cual podría denominarse mes de redeterminación. Como no se sabe aún cuál



es el mes de redeterminación, éste se establece a priori en forma estimativa para realizar el cálculo.

La variación de referencia se puede determinar como:

$$VR_{(\%)} = \left[ I_a * \left( \frac{IV_{a-MR}}{IV_{a-MB}} \right) + I_b * \left( \frac{IV_{b-MR}}{IV_{b-MB}} \right) + I_c * \left( \frac{IV_{c-MR}}{IV_{c-MB}} \right) + \dots + I_w * \left( \frac{IV_{w-MR}}{IV_{w-MB}} \right) \right] * 100$$

Donde:

- VR (%)= Variación de referencia expresada en porcentaje
- $\sum_{i=a}^{i=w}$  = Sumatoria para todos los insumos de la TABLA 6.3.1, desde el insumo “a” hasta el “w”
- $I_i$ = Incidencia del insumo “i” respecto del total de la obra
- $IV_i$ -MR= Índice de variación del insumo “i” correspondiente al mes de redeterminación
- $IV_i$ -MB= Índice de variación del insumo “i” correspondiente al mes base (mes de presentación de la oferta)

La variación de referencia así calculada podría arrojar, por ejemplo, un valor inicial de 8,93% en cuyo caso se debería volver a realizar los cálculos pero utilizando ahora los Índices de Variación de los insumos correspondientes al mes siguiente al que se tomó para el primer cálculo. De no llegar a superar el 10% requerido, se reitera el procedimiento utilizando los Índices del mes siguiente, hasta obtener un valor resultante que supere el 10%. También se podría llegar a dar el caso en que tras el primer cálculo se obtenga, por ejemplo, una variación de referencia de 13,76%. En este caso lo que ha pasado es que el mes que se ha tomado para la extracción de los índices de variación correspondiente al mes de redeterminación ha sido algunos meses más adelante del que podría superar el 10% requerido, con lo que estarían quedando sin posibilidad de realizar el ajuste de precios sobre los certificados que corresponderían a las tareas ejecutadas entre el mes elegido y el mes en donde efectivamente se sobrepasaría el 10% necesario en la variación de referencia. En ese caso habría que volver a realizar los cálculos con el mes anterior hasta verificar que obtenemos al menos el 10% y entonces sí quedaría



definido el mes de la primera redeterminación. Completada esa primera instancia, se está en condiciones de avanzar sobre la redeterminación de los precios de cada ítem del contrato.

Para llegar a obtener el precio redeterminado de aplicación es necesario partir del análisis que dio origen al precio de contrato original. Deben tenerse en cuenta los índices de variación de precios correspondientes para el mes en que se ha presentado la oferta (mes base) y para el mes que corresponde la redeterminación. Luego se calcula el factor de ajuste como el cociente entre el índice del mes de redeterminación y el índice del mes base, el cual multiplicado por el costo original del insumo dará el nuevo costo de éste. De esta manera, multiplicando cada factor de ajuste por el precio original del insumo correspondiente se tendrán los nuevos costos para cada uno de ellos y la sumatoria de estos últimos, multiplicada por el mismo coeficiente resumen que en el análisis de precios original tiene en cuenta los gastos generales, beneficios e impuestos, dará como resultado el precio redeterminado del ítem en cuestión.

Es muy importante aclarar que, una vez hecha la redeterminación, deben reducirse los factores de ajuste en un 10%, según se establece en el Decreto 1295/02 – Art 4º: *“Un diez por ciento (10%) del precio total del contrato se mantendrá fijo a inamovible durante la vigencia del mismo”*.

### 6.3.c. Ejemplo de aplicación

En la TABLA 6.3.2 puede observarse un ejemplo de la redeterminación de precios correspondiente al certificado N° 9. Se ha pactado con el comitente un descuento por anticipo del 15%.

Obsérvese el ajuste sobre los ítems certificados: Base granular 0.12m, Cordón cuneta 0.9m<sup>2</sup>/ml y Bocacalle de hormigón espesor 0.18m.



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES – UNC  
 INFORME TÉCNICO FINAL – PRÁCTICA SUPERVISADA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	% INC	NETO CERTIF (sin IVA) \$	VARIACIÓN PORCENT.	COEF. DE REDUCCIÓ	PORC. VARIACIÓN	NETO AJUSTE \$
1	Limpieza de terreno zona de camino	m2	34.157,76	1,60%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
2	Desmante incluido transporte lateral	m3	16.491,39	10,00%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
3	Carpeta asfáltica 0,05	tn	2.156,66	23,41%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
4	Riego de liga	m2	17.605,41	0,74%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
5	Imprimación	m2	17.605,41	1,48%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
6	Base granular 0,12 m	m3	2.668,90	10,18%	\$ 25.596,80	6,89%	0,90	6,20%	\$ 1.587,26
7	Sub Base (80-20) 15 cm de espesor	m3	4.089,86	7,23%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
8	Preparación Subrasante 0,15m	m2	27.265,74	3,79%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
9	Cordón cuneta 0,90 m2/ml	ml	6.079,72	20,46%	\$ 67.555,33	11,21%	0,90	10,09%	\$ 6.815,66
10	Bocacalle H° espesor 0,18 m y	m3	854,96	17,97%	\$ 106.465,87	11,21%	0,90	10,09%	\$ 10.741,34
11	Terraplen a nivel rasante	m3	0,00	0,00%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
12	Desmante laguna incluido Dist de	m3	4.508,07	3,07%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00
13	Cañería de PVC 200mm indicada en	m	16,40	0,07%	\$ 0,00		0,90	0,00%	\$ 0,00

	<b>SUMA TOTALES</b>	<b>\$ 19.144,26</b>
	<b>Ajuste de certificado</b>	<b>\$ 19.144,26</b>
<b>Dto Ant. Fin.</b>	<b>15,00%</b>	<b>\$ 2.871,64</b>
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 16.272,62</b>
<b>I.V.A</b>	<b>21,00%</b>	<b>\$ 3.417,25</b>
<b>Total a Certificar</b>		<b>\$ 19.689,87</b>

**TABLA 6.3.2 – Ejemplo de Ajuste de Certificado**



## CAPÍTULO 7. Equipos utilizados en obra

Se hará referencia en este capítulo a las características, prestaciones y rendimiento de cada una de las máquinas utilizadas. El estudio, análisis y evaluación de las condiciones de los equipos permite incrementar notablemente el rendimiento de la obra. No obstante, es evidente que en general un contratista se ajusta a la disponibilidad de equipos que posee, cuya flexibilidad es altamente acotada debido al elevado costo de las máquinas viales. De acuerdo a esto, la selección de los equipos a utilizar estuvo a cargo del Ingeniero apoderado de la empresa.

A continuación se mencionan los equipos utilizados en la obra:

- Excavadora Caterpillar 320L
- Motoniveladora Caterpillar 140G
- Motoniveladora Komatsu GD623A
- Motoniveladora Caterpillar 120F
- Cargador Frontal Caterpillar 966C
- Vibrocompactador Liso Ingersoll Rand SD115D
- Rodillo Vibratorio Pata de Cabra Bomag Bw211Pd40
- Bobcat S220
- Camión Regador de Agua Iveco 170 E22, con tanque de 10.000 L incorporado
- Camiones con caja volcadora de 8 m<sup>3</sup>



## 7.1. Excavadora Caterpillar 320L

Este equipo es utilizado para la excavación o desmonte inicial. Se han indicado algunos aspectos prácticos del mismo en la sección correspondiente. A continuación se indican sus especificaciones técnicas.



IMAGEN 7.1.1 – Excavadora 320L

<b>Motor</b>	
<b>Modelo de motor</b>	<b>Cat® C6.4 - ACERT™</b>
<b>Potencia neta en el volante</b>	<b>103 kW      138 hp</b>
<b>Pesos</b>	
<b>Peso en orden de trabajo –</b>	<b>20.330 kg      44.820 lb</b>
<b>Tren de rodaje estándar</b>	
• <b>Pluma de alcance, R2.9B1 (9 pies 7 pulg) Brazo, 0,9m<sup>3</sup>(1,18 yd<sup>3</sup>) Cucharón, 600 mm (24 pulg) Zapatas</b>	
<b>Peso en orden de trabajo –</b>	<b>21.570 kg      47.554 lb</b>
<b>Tren de rodaje largo</b>	
• <b>Pluma de alcance, R2.9B1 (9 pies 7 pulg) Brazo, 0,9m<sup>3</sup> (1,18 yd<sup>3</sup>) Cucharón, 800 mm (32 pulg) Zapatas</b>	

### 7.1.a. Bases para la selección de la configuración de transporte de la máquina

Un aspecto importante a tener en cuenta al utilizar este equipo es definir, de acuerdo a la tarea a realizar, la configuración de transporte más conveniente; las excavadoras pueden montarse sobre ruedas o cadenas (orugas).



### Características:

#### Cadenas:

- Flotación
- Tracción
- Maniobrabilidad
- Versatilidad en terrenos complejos
- Rapidez en cambios de ubicación

#### Ruedas:

- Movilidad y velocidad
- No dañan el pavimento
- Nivelación de la máquina con estabilizadores

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

Si las tareas no implican únicamente excavación de gran volumen o excavación de zanjas, deberá considerarse la posibilidad de utilizar una excavadora de ruedas. Esta combina las características de las excavadoras tradicionales tales como la capacidad de girar 360°, largo alcance, profundidad de excavación, altura de carga, elevada fuerza de excavación y capacidad de levantamiento alto, con la movilidad de un tren de rodajes sobre ruedas. Los neumáticos permiten que la excavadora se desplace por carreteras pavimentadas para trabajar en centros comerciales, zonas de estacionamiento y otras zonas pavimentadas sin dañar el pavimento. Su movilidad le permite desplazarse por sí misma con rapidez de un sitio de trabajo a otro, o de un



lugar a otro dentro de un sitio de trabajo permitiendo mayor flexibilidad a la hora de planear el trabajo. La excavadora de ruedas es la máquina ideal para cargar camiones cuando el espacio de maniobra es reducido, para remover cemento armado o asfalto, para trabajar en bermas, para embellecimiento de terrenos, nivelación de acabado, tendido de tubos, limpieza de zanjas, etc. Una excavadora de ruedas es también una máquina ideal para el manejo de materiales. Puede cargar o descargar camiones y transportar cargas alrededor de la obra. Si se instalan estabilizadores y una hoja topadora en el tren de rodaje se aumenta la estabilidad de la máquina durante las tareas de levantamiento.

El peso de la máquina es la consideración clave a la hora de seleccionar una excavadora de ruedas. Se puede aumentar la estabilidad de la máquina instalando estabilizadores y/o una hoja topadora. Se pueden añadir circuitos hidráulicos adicionales dependiendo de su aplicación.

En este caso se ha utilizado un sistema de orugas, puesto que el equipo se traslada distancias pequeñas durante la realización del trabajo; un aspecto importante a tener en cuenta con dicho sistema es evitar el traslado en distancias considerables, ya que esta actividad perjudica el acoplamiento entre los eslabones de la cadena.

#### 7.1.b. Consideraciones para calcular el tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo tiene gran influencia en la capacidad de producción de la máquina. El ciclo de la excavadora consta de cuatro partes:

- Carga del cucharón
- Giro con carga
- Descarga del cucharón
- Giro sin carga

El tiempo total del ciclo de la excavadora depende del tamaño de la máquina (las máquinas pequeñas tienen ciclos más rápidos que las máquinas grandes) y de las condiciones de la obra. A medida que éstas se hacen más complejas, baja el rendimiento de la excavadora. A medida que se endurece el

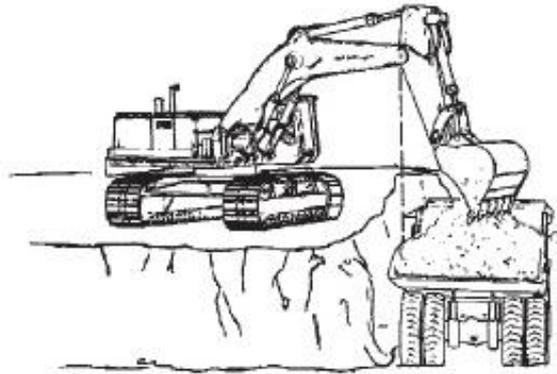


suelo y se dificulta su excavación, se tarda más en llenar el cucharón. Conforme la zanja se hace más profunda y la pila del material que se saca crece, el cucharón tiene que viajar más lejos y la superestructura tiene que hacer mayores giros con cada ciclo de trabajo. La ubicación de la pila del material y del camión afectan también al ciclo de trabajo. Si el camión se estaciona en el área inmediata de excavación contigua a la pila del material, son posibles ciclos de 10 a 17 segundos. El extremo opuesto sería con el camión o la pila de material por encima del nivel de la excavadora, a 180° del punto de excavación. La existencia de elementos pertenecientes a redes de distribución (agua, gas, energía eléctrica, etc) dificulta el proceso e incrementa los tiempos de ciclo.

Existen tablas proporcionadas por el fabricante que muestran el tiempo total de los ciclos que se pueden esperar en condiciones de trabajo desde excelentes hasta rigurosas. Las tablas definen la gama de tiempo de los ciclos que se experimentan frecuentemente y proporcionan una guía en la decisión de qué trabajo es “fácil” y cuál es “difícil”. De esta manera, se evalúan primero las condiciones de la obra y se usa después la Tabla para Estimar el Tiempo de Ciclo, para seleccionar así la gama apropiada de trabajo. Un método práctico para mejorar aún más la Tabla para Calcular el Tiempo de Ciclo es observar las excavadoras cuando trabajan en el campo y tratar de correlacionar los ciclos a las condiciones de la obra, a la habilidad del operador.

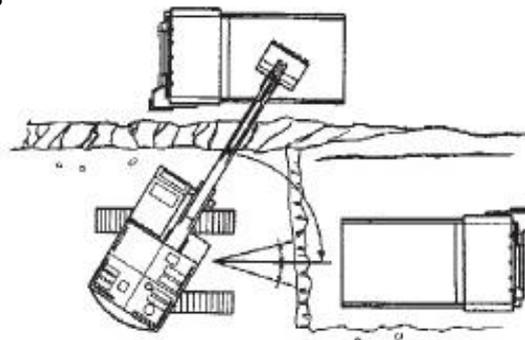
#### 7.1.c. Aspectos básicos para incrementar el rendimiento del equipo

- *Altura del banco y distancia al camión ideal:* Cuando el material es estable, la altura del banco debe ser aproximadamente igual a la longitud del brazo. Si el material es inestable, la altura del banco debe ser menor. La posición ideal del camión es con su caja cercana a la pared (véase la FIGURA 7.1.1)



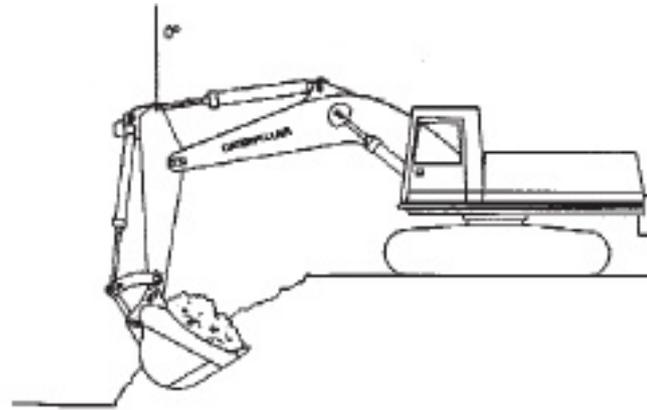
**FIGURA 7.1.1 – Posición óptima de la Excavadora para incrementar el rendimiento**

- *Zona de trabajo y ángulo de giro óptimos:* Para obtener la máxima producción, la zona de trabajo debe estar limitada a  $15^\circ$  a cada lado del centro de la máquina o aproximadamente igual al ancho del tren de rodaje. Los camiones deben colocarse tan cerca como sea posible de la línea central del equipo. La FIGURA 7.1.2 muestra dos alternativas posibles



**FIGURA 7.1.2– Posición óptima de la Excavadora para incrementar el rendimiento**

- La máquina debe colocarse de forma que el brazo esté vertical cuando el cucharón alcanza su carga máxima. Si la máquina se encuentra a una distancia mayor, se reduce la fuerza de desprendimiento. Si se encuentra más cerca del borde, se perderá tiempo al sacar el brazo. El operador debe comenzar a levantar la pluma cuando el cucharón haya recorrido el 75% de su arco de plegado. En ese momento el brazo estará muy cerca de la vertical. Se muestra la FIGURA 7.1.3 para ilustrar esta situación.



**FIGURA 7.1.3**

- Se debe lograr una adecuada coordinación entre el rendimiento disponible del equipo y la cantidad de camiones a utilizar. En este aspecto también tiene influencia el tipo de trabajo a realizar, la distancia de transporte, entre otros.

En este caso se han utilizado 4 Camiones con caja volcadora de 8 m<sup>3</sup> de capacidad. En algunos casos particulares, en los que el volumen de desmote en una determinada calle era reducido, se han utilizado hasta un mínimo de 2 camiones. La cantidad de equipos de transporte a utilizar está condicionada por las posibilidades de que cada uno de ellos logre un rendimiento adecuado, fundamentalmente en este caso, puesto que se han utilizados camiones pertenecientes a terceros. Es decir, como el rendimiento económico de cada camión depende de la cantidad de metros transportados (y por lo tanto, de la cantidad de viajes realizados), cada uno de ellos debe efectuar una mínima cantidad de viajes que permitan explotar el rendimiento del camión de manera adecuada. Con los precios actuales, y para una obra de este tipo, es aceptable un mínimo de 35 viajes por día. Durante la excavación de la laguna, se han utilizado hasta 5 camiones de manera simultánea, logrando cada uno de ellos 38 viajes a lo largo de la jornada.



#### 7.1.d. Tablas para determinar la capacidad de producción de una excavadora

El fabricante provee información tabulada a partir de la cual puede estimarse la capacidad de producción (o rendimiento) de un equipo y, conociendo la cantidad de material a extraer según se detalló en la sección 4.2, podrá calcularse el rendimiento de la obra.

El uso de estas tablas requiere de la determinación del tiempo de ciclo (sección 7.1.b) y conocer la carga útil del cucharón. Este último valor puede obtenerse a partir del manual correspondiente; para ello es necesario conocer los siguientes conceptos:

Los cucharones de las excavadoras se clasifican de acuerdo con la NORMA PCSA N°3 y la SAE J-296. Según estas especificaciones, la capacidad de los cucharones se clasifica en “capacidad colmada” y “capacidad al ras”.

- *Capacidad al ras*: Volumen de material dentro del contorno de las planchas laterales, *delantera* y trasera sin considerar el exceso en la plancha de derrame y/o en los dientes.
- *Capacidad de colmado*: El volumen del cucharón cargado a ras más el volumen de material encima del nivel a ras, con un ángulo de reposo de 1:1 sin contar material en la plancha de derrame ni en los dientes



**FIGURA 7.1.4 – Esquema referente a la capacidad del cucharón**



Desde el punto de vista práctico, interesa fundamentalmente la capacidad de colmado. *El valor correspondiente al modelo analizado es de 1.3 m<sup>3</sup>, con un ciclo promedio de 20 s, lo que da un resultado (según TABLA 7.1.1,) de 234 m<sup>3</sup>/h.*

Metros cúbicos por hora de 60 minutos\*

Tiempos de Ciclo Calculados		CARGA UTIL CALCULADA DEL CUCHARON** – METROS CUBICOS SUELTOS																		
Tiempo en																				
Seg.	Mln.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0
10,0	0,17																			
11,0	0,18																			
12,0	0,20	60	90	150	210	270														
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312
50,0	0,83																			

TABLA 7.1.1 – Estimación del rendimiento del equipo a partir del Tiempo de Ciclo

## 7.2. Motoniveladora Caterpillar 140G

Este equipo es de gran utilidad en cada una de las etapas de la obra. Ya se han mencionado en el Capítulo 4 las diversas aplicaciones que posee; limpieza en zona de camino, excavaciones de pequeña profundidad, perfilado, corte y terminación de las diferentes capas del pavimento, mezclado de material son algunas de las utilidades más importantes que pueden asignarse a una máquina de este tipo.

Cabe destacar que también se ha recurrido al uso de equipos de la misma tipología, pertenecientes a otras firmas comerciales u otros modelos, tales como la Motoniveladora Komatsu GD623A y la Mononiveladora Caterpillar 120F, cuya descripción se omite en este documento por tratarse de equipos mucho mas incompletos, con un rendimiento notablemente inferior y prestaciones de trabajo menos favorables.



En la IMAGEN 7.1.1 puede verse el modelo analizado, junto con sus especificaciones técnicas principales.



IMAGEN 7.2.1

<b>Motor</b>	
<b>Modelo de motor</b>	<b>Cat® 3306 T</b>
<b>Potencia neta en el volante</b>	<b>112 kW</b>
<b>Pesos</b>	
<b>Peso en orden de trabajo</b>	<b>16700 kg</b>

### 7.2.1 Determinación del rendimiento del equipo

La evaluación del rendimiento de esta máquina resulta algo compleja desde el punto de vista práctico. La capacidad de producción se encuentra sujeta a las habilidades del operario, a las condiciones de trabajo en la obra, a la calidad de los trabajos de nivelación, etc.

No obstante, puede obtenerse un valor estimativo del rendimiento, denominado “rendimiento estándar”, el cual se deduce de las siguientes expresiones:

$$T = \frac{N \times D}{e} \sum_{i=1}^{I=n} \frac{1}{V_i}$$



Donde:

- T= Tiempo total empleado para realizar la tarea considerada
- D= Distancia recorrida en cada una de las pasadas (km)
- N= Número de pasadas requeridas, según tipo de material, condiciones en que se encuentra, etc
- e= Factor de eficiencia de la motoniveladora; toma valores comprendidos entre 0 y 1. Dicho valor depende de las prestaciones del equipo, del tipo de trabajo de las condiciones de trabajo (características del material, pendientes, etc)
- Vi= Velocidad en cada una de las pasadas realizadas (km/h)

Al dividir la superficie total de trabajo por el tiempo total empleado, se obtiene el rendimiento del equipo:

$$R[m^2/h] = \frac{\textit{Superficie total de trabajo}}{\textit{Tiempo total empleado para realizar la tarea}}$$

La velocidad es el factor más difícil de evaluar, porque en gran medida depende de la habilidad del operador y del tipo de material con el que se está trabajando. Además, la velocidad depende del tamaño de la máquina, del espesor de la capa y del tipo de trabajo; para condiciones normales se pueden utilizar como referencia los valores siguientes:



Nivelación	5,0 – 6,0 Km/hra
Escarificado	4,0 – 5,0 Km/hra
Perfilado	4,5 – 6,5 Km/hra
Limpieza de maleza	6,5 – 8,5 Km/hra
Conformación de subrasantes	4,0 – 6,0 Km/hra
Mezcla de materiales	4,0 – 6,0 Km/hra
Reparación de caminos	2,0 – 5,0 Km/hra
Excavación de zanjas	1,5 – 3,0 Km/hra
Terminación de orillas	1,0 – 2,0 Km/hra
Explanación de campo	1,5 – 4,0 Km/hra
Velocidad de retorno	15,0 Km/hra

**TABLA 7.2.1**

#### 7.2.2. Factores que afectan el rendimiento teórico de la motoniveladora

Como se ha mencionado, el rendimiento indicado anteriormente hace referencia a un valor puramente teórico el cual, en la práctica, se ve modificado por una amplia lista de factores.

Estos aspectos pueden ser tenidos en cuenta en la determinación del coeficiente de eficiencia del equipo.

Será necesario, entonces, tener en cuenta:

- Influencia de las pendientes
- Capacidad y habilidad del operario
- Condiciones de conservación y mantenimiento del equipo
- Tipo de trabajo a realizar
- Condiciones en las que se encuentra el material
- Calidad de los trabajos de nivelación requeridos, entre otros



### 7.2.3. Recomendaciones básicas para incrementar el rendimiento

Existen algunos aspectos sencillos que deben aplicarse para mejorar la capacidad de producción de estos equipos. Muchos de ellos, naturalmente, están asociados a las características del modelo utilizado.

La relación peso/potencia es fundamental a la hora de seleccionar el equipo a utilizar. El modelo analizado posee un valor de dicha relación altamente aceptable. Máquinas livianas implican un mayor número de pasadas y, en algunos casos, una terminación muy desprolija de la tarea, fundamentalmente cuando se trata de trabajos de precisión.

Existen además ciertos detalles inherentes a diversos modelos que constituyen aspectos de fundamental importancia en cierto tipo de trabajos. Particularmente, el diseño de la Caterpillar 140G resulta ampliamente favorable respecto de los otros modelos mencionados. Al contar con una hoja vertedora de mayor longitud brinda la posibilidad de abarcar una mayor superficie en cada pasada, lo que disminuye el tiempo de operación. Lógicamente, una hoja vertedora de grandes dimensiones requiere de un motor de potencia adecuada y de un mayor peso de la máquina, lo cual resulta muy acertado en este equipo. De hecho, puede mencionarse un detalle adicional respecto a las dimensiones del espejo; la altura del mismo en el modelo analizado es inferior al correspondiente a la Komatsu GD623A. Esto resulta favorable, puesto que evita el transporte de grandes cantidades de material en áreas pequeñas, lo cual podría generar una insuficiencia del sistema de tracción. Es decir que es conveniente, para una misma cantidad de material transportado (y por lo tanto para un esfuerzo del motor prácticamente equivalente), lograr abarcar una superficie más amplia, acarreado una menor cantidad de material por unidad de longitud de la hoja.

Por otro lado, la curvatura de la hoja vertedora es esencial al momento del mezclado, puesto que genera una rotación del material a partir de la cual se facilita el despido del mismo por la parte lateral. Por el contrario, modelos con espejos sin curvatura producen una acumulación de material durante el transporte, concluyendo en una traslación que resulta contraproducente. Además, esto puede generar una alteración significativa de los niveles del



estrato, aunque dicho aspecto depende principalmente de las habilidades del operador.

La capacidad de articulación del equipo no constituye un detalle menor. En zonas de trabajo desfavorables, existen peligros de caída libre de la motoniveladora, resultando un riesgo inadmisibles para el operador y una posible pérdida económica considerable debido al deterioro de la máquina. Al articular el conjunto, puede asentarse la zona de tracción en terreno firme y lograr un alcance mayor con seguridad. Por otro lado, en zonas estrechas, esta aptitud permite un giro más cómodo y rápido, mejorando las condiciones de trabajo. La FIGURA 7.2.1 muestra las diferentes posiciones de articulación posibles para el modelo analizado las cuales, en general, resultan convencionales.

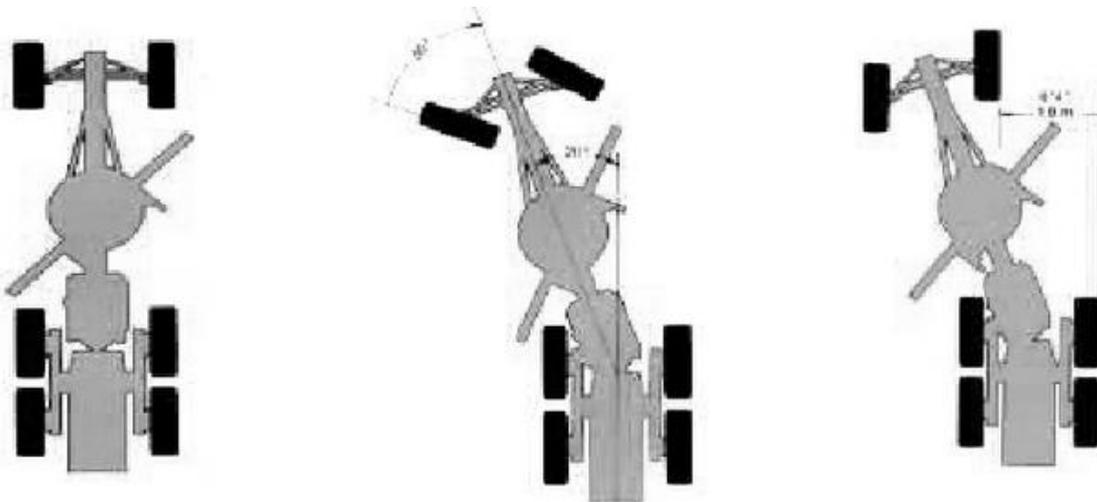


FIGURA 7.2.1

La velocidad de trabajo es, como se ha visto, un aspecto fundamental para incrementar el rendimiento. No obstante, existe obviamente un límite a partir del cual mantener velocidades excesivas conduce a una disminución de producción. La necesidad de repasar tareas ya realizadas por no alcanzar la calidad requerida, los riesgos de averías debido al sobre esfuerzo del equipo, entre otros, son algunos de los factores que implican la implementación de una *velocidad óptima*.

Existen innumerables condiciones que deben analizarse para cada caso, como así también algunos aspectos generales, necesarios para lograr la mayor



productividad posible. Los expuestos anteriormente son los principales que se destacan de esta amplia lista.

#### 7.2.4. Valores de rendimiento en función del tipo de trabajo y del espesor del estrato

Se presenta a continuación la TABLA 7.2.2, en la cual pueden observarse los valores de rendimiento para la motoniveladora Caterpillar 140G. Dichos valores pueden tomarse a modo de ejemplo, como orientación para lograr una noción básica de la capacidad de producción de estos equipos. Naturalmente, los rendimientos varían para otros modelos, aunque dicha variación se mantiene dentro de ciertos límites.

<b>CAT 140 G</b>	140 HP	Acabado de Sub-Rasante		420	m2/hr
		Conformación de Terraplén	30 cm	140	m3/hr
		Subbase Seleccionada	15 cm	380	m2/hr
		Subbase Seleccionada	20 cm	340	m2/hr
		Base granular	15 cm	330	m2/hr
		Base granular	20 cm	300	m2/hr
		Escarificado		460	m2/hr

**TABLA 7.2.2**

El rendimiento de este equipo en una obra de esta categoría resulta de compleja evaluación, debido a que se trabaja, en general, en forma aislada en cada una de las calles, de modo que la motoniveladora realiza tareas muy diferentes a lo largo de cada jornada, y rara vez se logra una superficie de trabajo que permita analizar la producción de esta máquina.

### 7.3. **Cargador Frontal Caterpillar 966C**

El campo de aplicación de los cargadores frontales incluye el cargado de materiales sobre vehículos de transporte, el traslado de materiales de un lugar a otro. Por ejemplo en las plantas de trituración de asfalto y de hormigón, siempre que las distancias sean cortas y la superficie del terreno uniforme y libre de protuberancias y huecos, en el relleno de zanjas y el



revestimiento de taludes. Pueden realizar también trabajos de excavación en terrenos poco densos y sin contenido de rocas, especialmente en espacios reducidos, como ser fundaciones de edificios, puentes, etc.

En una obra de este tipo se utilizan, entre otras cosas, para retirar los cordones de tierra generados luego del paso de la motoniveladora, para transporte de material en pequeñas distancias (fundamentalmente de material de base granular), para efectuar limpieza de terrenos sencillos, etc. La posibilidad de limpieza de canchas está condicionada por la habilidad del maquinista, fundamentalmente cuando se trata de corte sobre estacas en cualquiera de los estratos, puesto que existe la posibilidad de que se generen desprolijidades debido a la acción de los dientes de ataque que posee en el cucharón. En general, resulta conveniente utilizar para esta tarea una mini pala cargadora, la cual permite realizar el trabajo con una precisión mucho mayor.

En la siguiente imagen puede verse el equipo analizado, junto con sus especificaciones técnicas.



IMAGEN 7.3.1

<b>Motor</b>	
<b>Modelo de motor</b>	<b>C11 ACERT™</b>
<b>Potencia neta en el volante 195 kW</b>	
<b>Pesos</b>	
<b>Peso en orden de trabajo –</b>	<b>23800 kg</b>
<b>Capacidad del Cucharón –</b>	<b>3.4 m<sup>3</sup></b>

La capacidad se encuentra condicionada por la carga admisible, o carga de operación. Para especificar este concepto es necesario primero hacer



referencia a la carga límite, la cual se define como aquella que, ubicada en el centro de gravedad del cucharón, hace oscilar el extremo trasero de la máquina, de tal manera que los neumáticos de atrás pierden contacto con la superficie, estando ubicado el equipo sobre un área plana y rígida. Luego, la carga de operación no deberá ser mayor al 50% de la carga límite, para un equipo en condiciones de conservación y mantenimiento adecuadas. Para el modelo utilizado, la carga de operación tiene un valor aproximado de 4.5 t.

### 7.3.1 Determinación del rendimiento del equipo

La productividad de los cargadores frontales depende principalmente del volumen del cucharón y de la duración de su ciclo de trabajo. Este resultado será un valor teórico de su producción horaria  $Q_T$

$$Q_T = \frac{q}{T}$$

Donde:

- $q$ = Producción por ciclo (capacidad de operación del cucharón)
- $T$ = Tiempo del ciclo

En cuanto a la duración del ciclo, será conveniente cronometrar este valor en la obra, en las condiciones reales de trabajo.

En las tablas que siguen se proporcionan las duraciones de los ciclos para condiciones promedio, considerando la forma de cargado, las condiciones de operación y una distancia de recorrido del acopio al equipo de transporte de cinco a siete metros. Si el recorrido es mayor se deberá incrementar la duración del ciclo en forma proporcional a la distancia que recorre la máquina.



CONDICIONES DE CARGA	FORMA DE CARGADO Y TAMAÑO DEL CUCHARON					
	CARGADO EN "V"			CARGADO EN CRUZ		
	<3 M3	3.1 a. 5 M3	>5 M3	<3 M3	3.1 a. 5 M3	>5 M3
FACIL	0,5	0,6	0,7	0,45	0,55	0,65
PROMEDIO	0,6	0,7	0,75	0,55	0,65	0,7
MOD. DIFICIL	0,75	0,75	0,8	0,7	0,7	0,75
DIFICIL	0,8	0,8	0,85	0,75	0,8	0,8

**TABLA 7.3.1 – Tiempo de Ciclo del Cargador Frontal (Minutos)**

Los cargadores frontales también pueden efectuar trabajos de carga y transporte en distancias relativamente cortas, no mayores a 300 metros y sobre plataformas con capas de rodadura compactada y uniforme. Frecuentemente se utilizan los cargadores para este tipo de trabajo en las plantas de trituración, en las plantas de asfalto, en las plantas de hormigón, etc. En este caso en particular, se ha utilizado para el transporte de material 0-20 (base granular) de un cajón a otro, puesto que resulta imposible descargar en cada cancha la cantidad exacta mediante los equipos de transporte.

En este caso en su ciclo de trabajo se tendrá que incluir los tiempos que corresponden al recorrido de ida y de retorno, además de un tiempo fijo para el llenado y descarga del cucharón y para los virajes. La expresión teórica es idéntica a la del caso anterior, solo que en este caso, El valor de "T" será:

$$T = \frac{D}{V_c} + \frac{D}{V_R} + Z$$

Con:

- D= Distancia de acarreo
- z= Tiempo Fijo
- $v_c$ = Velocidad del equipo cargado
- $v_R$ = Velocidad de retorno (equipo descargado)



Los valores de  $V_C$  y  $V_R$  pueden consultarse, en forma orientativa, en la TABLA 7.3.2:

Condiciones de operación	Velocidad con carga (Km/hra)	Velocidad Retorno (Km/hra)
<b>Buenas:</b> acarreo sobre camino lleno bien compactado, con pocas protuberancias	10 a 23	11 a 24
<b>Promedio:</b> camino parejo con pocas protuberancias, trabajo auxiliar de carga reducido, pequeño porcentaje de rocas.	10 a 18	11 a 19
<b>Moderadas:</b> protuberancias en la superficie del camino, mucho trabajo auxiliar.	10 a 15	10 a 16
<b>Deficientes:</b> irregular con grandes protuberancias, trabajo difícil de realizar, trabajo auxiliar intenso.	9 a 12	9 a 12

**TABLA 7.3.2 – Velocidades Características del Cargador Frontal**

El tiempo fijo “Z” depende de tres factores básicos:

- Habilidad del operador
- Tipo de material cargado y condiciones en las que se encuentra
- Características y prestaciones del equipo

Estos tiempos contemplan, en cierto modo, las demoras en la carga, giro y descarga.

### 7.3.2. Factores que afectan el rendimiento teórico del cargador frontal

Para obtener la producción real de los cargadores frontales se deberá corregir la producción teórica aplicando los factores: de pendiente, de eficiencia del trabajo y de cucharón o acarreo. Cuando estas máquinas realizan trabajos de carga y transporte se deberá considerar, además, el factor de resistencia a la rodadura. Los factores de pendiente y de eficiencia han sido descritos anteriormente y dicha descripción puede tomarse como válida también para este caso.



El factor de cucharón o acarreo representa la disminución del volumen del material acumulado en el cucharón, debido a la pérdida por derrame en la operación de levante y descarga; varía de acuerdo a la forma y tamaño de las partículas, del estado de humedad y de las condiciones de operación. Los valores de este factor pueden incrementar o disminuir la eficiencia del equipo. El caso más favorable para el cual se toman valores comprendidos entre 1 y 1.1 corresponde, por ejemplo, al cargado de un acopio de tierra, en donde no es necesario utilizar la potencia de excavación del equipo, puesto que el material se encuentra suelto. Las situaciones correspondientes a los valores más bajos incluyen, entre otras, cargado de piedras de grandes dimensiones, bloques de hormigón, etc, las cuales permiten grandes vacíos, produciendo así un desaprovechamiento importante de la capacidad volumétrica del cucharón. En estas condiciones, el factor de cucharón puede reducirse hasta un mínimo de 0.75.

El rendimiento corregido del equipo será entonces:

$$Q = \frac{q \cdot p \cdot k \cdot E}{T}$$

Donde:

- p= Factor de pendiente
- E= Factor de eficiencia
- K= Factor de cucharón
- q= Producción por ciclo

#### **7.4. Equipos de compactación, riego y limpieza**

Estos equipos se incluyen en una misma sección debido a que su influencia en la producción general es considerablemente menor a la de los anteriores, a pesar de que resulten indispensables para la ejecución de la obra.

Los equipos de compactación han sido descriptos ya en el Capítulo 4.

El equipo de riego es muy importante para lograr un trabajo adecuado. Debe cumplir las condiciones necesarias que permitan efectuar todas las tareas requeridas: humedecimiento de material, riego liviano para corte, riego



de repaso, mantenimiento de calles no intervenidas para evitar el exceso de polvo en la obra, etc. En términos generales, será necesario disponer de un equipo capaz de avanzar en reversa (evitar en lo posible tanques acoplados a equipos de tracción); debe contarse también con la capacidad de regular el caudal de riego y la velocidad, logrando de ese modo un humedecimiento uniforme. Otro aspecto importante es disponer de un tanque de alta capacidad, fundamentalmente cuando la zona de carga se encuentra alejada de la obra. En este caso, el agua ha sido extraída mediante una bomba incorporada al equipo, utilizando el Río Suquía como fuente de abastecimiento. La cantidad de agua utilizada en la obra puede estimarse en 3300 m<sup>3</sup> aproximadamente.

La longitud de la barra de distribución del equipo regador debe ser adecuada: el largo máximo dependerá del ancho del camión (lógicamente la barra debe estar contenida en dicho ancho, para facilitar las maniobras y evitar accidentes); la longitud mínima será determinada por un valor que permita lograr un alto rendimiento. En general, el largo de la barra de distribución es levemente menor al ancho del equipo en el cual se encuentra montado el tanque. Para ambos límites debe disponerse de una configuración que permita evitar la superposición de riegos adyacentes, lo cual resulta contraproducente.

Un equipo fundamental en una obra de este tipo es la mini pala cargadora. En este caso se ha utilizado una BobCat S220. La versatilidad de esta máquina permite efectuar trabajos de afinación:

- Corte sobre estacas, en zonas donde la motoniveladora tiene posibilidades de maniobra restringida
- Limpieza de chanchas luego del corte, logrando mantener una prolijidad adecuada en la superficie.
- Marcado de badenes: el resultado obtenido en estas tareas depende ampliamente de la capacidad de operación del maquinista. Puede lograrse un acabado de alta precisión, logrando el ahorro de hormigón, lo cual resulta altamente favorable
- Terminación de la zona posterior de los cordones: cuando se culmina la confección del cordón cuneta es necesario realizar el empalme



entre el nivel final de hormigón y el nivel de terreno. La mini pala cargadora es adecuada para efectuar este trabajo.

- Limpieza de canchas una vez finalizadas las tareas de hormigón: consiste en el retiro del material sobrante utilizado para el calce de los encofrados, del sobrante de hormigón y demás. Esta tarea puede adjudicarse a la motoniveladora, pero resulta más sencilla empleando el equipo aquí mencionado.

A continuación se muestra la IMAGEN 7.4.1, en la cual puede verse la BobCat S220, junto con sus especificaciones técnicas principales.

Entre las ventajas más importantes de esta máquina, no puede dejar de mencionarse su capacidad de giro en zonas restringidas (se logra un giro de hasta 360° en su propio eje), su elevada potencia en relación a sus dimensiones, su reducido peso y las amplias posibilidades de adaptación que ofrece: el cucharón puede reemplazarse por diferentes complementos que permiten efectuar diversas tareas. Existen 150 de ellos; en este caso se ha utilizado, además del cucharón, el martillo neumático para la rotura del hormigón.



IMAGEN 7.4.1

BobCat S220	
PESO DE TRABAJO [t]	3,13
MOD. MOTOR	V3300-DI-T
POTENCIA [KW]	54
ANCHO CUCHARON [m]	1,88
CAPACIDAD CUCHARON [m3]	0,91
CARGA MAXIMA[t]	2,91



## CAPÍTULO 8. Conclusiones

### **8.1. Conclusiones referidas a la Práctica Supervisada y a la Formación Profesional**

La asignatura Práctica Supervisada constituye una oportunidad fundamental para la adquisición de experiencia profesional, pudiendo proporcionar al estudiante una salida laboral accesible, como en este caso.

La posibilidad de ingresar a una empresa de ingeniería sin contar con ningún tipo de experiencia es muy reducida; no obstante, bajo esta modalidad, diferentes firmas aportan a la formación de los alumnos y brindan espacios de trabajo en condiciones favorables.

Por otro lado, una experiencia de este tipo es totalmente necesaria para afianzar los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrera, como así también para incorporar nuevas aptitudes, las cuales resultan ajenas al marco académico.

Particularmente, el autor considera que la formación académica en el área del transporte resulta totalmente correcta, en cuanto a la complementariedad entre la información proporcionada durante la carrera y el desempeño profesional. No obstante, a modo de sugerencia, considera necesario ampliar la información respecto a los equipos de trabajo, puesto que es el Ingeniero quien tiene gran parte de la responsabilidad en el cuidado y el uso de los mismos. También podría ser necesaria la profundización sobre el funcionamiento de una empresa de ingeniería, lo cual permitiría al estudiante adaptarse de mejor manera al ambiente laboral.



## 8.2. Conclusiones referidas a la Obra construida

En términos generales, puede decirse que los resultados obtenidos han sido muy positivos, lo cual se encuentra respaldado en la conformidad del Comitente.

Algunos aspectos aún no pueden evaluarse, como por ejemplo la durabilidad de la obra, ya que la misma ha sido finalizada recientemente. Sin embargo, pueden destacarse ciertos factores favorables observados hasta el momento:

- Los espesores de los diferentes estratos del paquete estructural han sido logrados correctamente, existiendo una diferencia de  $\pm 2$  cm.
- Los ensayos de densidad arrojaron resultados admisibles en todos los casos, evitando la repetición de los trabajos.
- Se ha alcanzado una prolijidad destacable en la ejecución del hormigón (bocacalles y cordón cuneta); no hubo necesidad de levantar bloques ya construidos, no hubo errores de replanteo, etc. La terminación superficial es correcta; sólo una zona, con una superficie de  $17 \text{ m}^2$ , presentó fisuras superficiales, las cuales son causadas por la pérdida de agua por parte del hormigón. Esto puede deberse a la falta de riego sobre la subbase granular, a errores en la aplicación del líquido de curado, entre otros. No obstante, este tipo de fisuras influyen únicamente en el aspecto estético de la obra, y no presentan ningún tipo de inconveniente desde el punto de vista estructural.
- La evacuación del agua de lluvia tiene lugar en forma adecuada, sin acumulación en ninguna zona de la obra, llegando a las lagunas de regulación y arrastrando parte de los residuos ubicados sobre la calzada (tierra, polvo, césped, etc), lo cual resulta conveniente.
- Las cantidades de material utilizadas coinciden con los certificados acumulados, de modo que no ha habido un uso innecesario. Sin embargo, las cantidades ejecutadas de cada ítem presentan diferencia con los certificados, en algunos casos, lo cual se debe a un error de cómputo.



- El plazo de obra se cumplió de manera aceptable, con un retraso de 25 días

A continuación se muestran algunas imágenes de la obra terminada; restan algunas tareas de limpieza. Las fotos fueron tomadas luego de un día de lluvia, con la finalidad de mostrar la forma en que trabaja el sistema de desagüe.



**IMAGEN 8.2.1 – Obra Terminada**



**IMAGEN 8.2.2 – Obra Terminada**



**IMAGEN 8.2.1 – Obra Terminada**



**IMAGEN 8.2.1 – Obra Terminada / Laguna de Retención**