



Informe Final Practica Académica
Modalidad Práctica Empresarial
Departamento de Ingeniería 2019



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA

PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN NIVELACIÓN DEL LLENO EN BODEGAS INDUSTRIALES Y LOGÍSTICAS

Identificación del estudiante

Nombres y apellidos
Programa Académico

Yubert Arley Franco López
Ingeniería Civil

Identificación del asesor interno (U. de A.)

Nombres y apellidos

Javier Enrique Rivero Jerez

Identificación del asesor externo (Empresa)

Nombres y apellidos
Cargo

Andrés Felipe Rodríguez Salgado
Residente de obra

Identificación de la empresa

Nombre de la empresa
Dirección
Ciudad
Actividad económica

Constructora Gomeco S.A.S.
Vereda la Matica parte baja
Girardota
Construcción de edificios y obras de ingeniería civil.

PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN NIVELACIÓN DEL LLENO EN BODEGAS INDUSTRIALES Y LOGÍSTICAS

RESUMEN

Esta experiencia consistió en observar detalladamente y desarrollar el lleno en bodegas industriales y logísticas a los niveles previstos, evaluar materiales inadecuados, la conformación y compactación de suelos.

Para la elaboración de este informe se tuvo en cuenta la información recopilada en campo en cada parte del proceso de compactación, y esta fue utilizada para identificar los problemas más comunes; Con el fin de optimizar las actividades ejecutadas.

En campo fue frecuente encontrar suelos con porcentajes de humedad variables, y esto está directamente relacionado con el tratamiento más conveniente que debe dársele al suelo, con el fin de lograr la compactación requerida (95% del grado de compactación con el ensayo proctor modificado, según la norma INV E-142).

Algunas de las dificultades que se presentaron en campo y que generaron retrasos fueron la lluvia, daños o falta de maquinaria, exceso de humedad del material etc. Con esta experiencia en campo fue posible examinar el manejo más conveniente que debe darse a los suelos según sus características y propiedades. Además se logró reducir el tiempo de ejecución con pequeñas modificaciones en las actividades de compactación.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GENERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
3	MARCO TEORICO	3
3.1	MATERIALES	3
3.1.1	Agregados utilizados.....	4
3.2	PROCESO DE NIVELACION	6
3.3	PROCESO DE COMPACTACION	7
3.3.1	Preparación de la superficie existente.....	7
3.3.2	Extensión y conformación del material.....	8
3.3.3	Compactación	8
3.3.4	Limitaciones en la ejecución	9
3.3.5	Conservación	9
3.4	CONTROL DE CALIDAD	10
3.4.1	Calidad de los agregados.....	11
3.4.2	Calidad del producto terminado	12
3.5	MAQUINARIA	14
4	METODOLOGIA	19
4.1	PROCESO DE COMPACTACION	20
4.1.1	Preparación de la superficie existente.....	20
4.1.2	Transporte de materiales	21
4.1.3	Extendido de material	25
4.1.4	Humectación o secado del material	27
4.1.5	Compactación del material.....	29
4.2	CONTROL DE COMPACTACION	31
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	32
5.1	TRANSPORTE DE MATERIAL.....	32
5.2	EXTENDIDO DE MATERIAL	34
5.3	HUMEDECIMIENTO O SECADO DE MATERIAL	36
5.4	COMPACTACION.....	38
5.5	SEGUIMIENTO PARA COMPLETAR EL LLENO POR BODEGAS	39
6	CONCLUSIONES	43
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de los agregados para subbase granular.

Tabla 2. Granulometría del material de subbase.

Tabla 3. Requisitos de los agregados para base granular.

Tabla 4. Granulometría del material de Base.

Tabla 5. Verificaciones periódicas de la calidad del material.

Tabla 6. Tiempo promedio para transportar material de base.

Tabla 7. Tiempo para extender material con diferentes equipos.

Tabla 8. Tiempo para humectar o secar el suelo.

Tabla 9. Tiempo promedio para compactar el suelo.

Tabla 10. Resultado del ensayo NTC 1667 para base granular.

Tabla 11. Tiempo promedio con estrategia para transporte de material.

Tabla 12. Tiempo promedio para extender material estructural.

Tabla 13. Tiempo promedio durante el tratamiento del suelo.

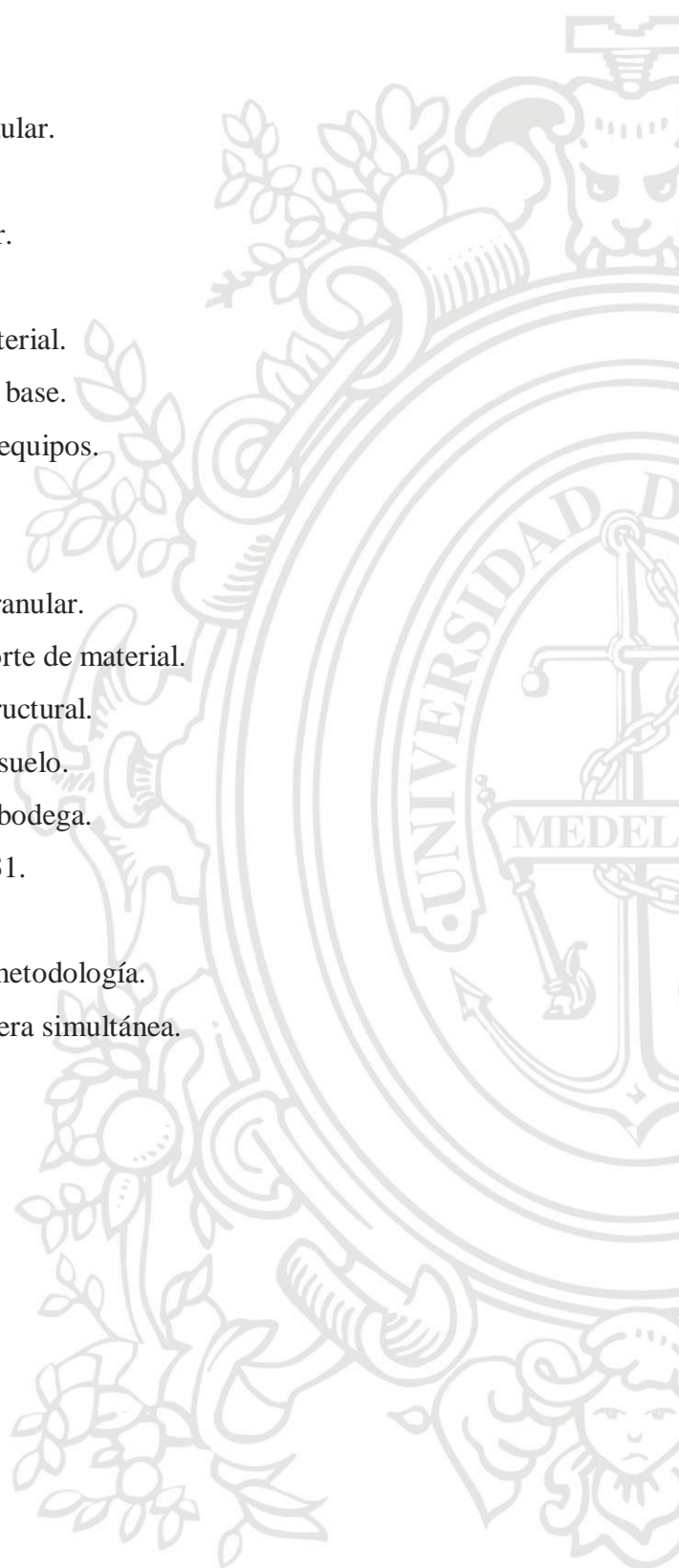
Tabla 14. Tiempo promedio para compactar el área de bodega.

Tabla 15. Tiempo para completar el lleno de bodega 131.

Tabla 16. Diagrama de Gantt de la bodega 131.

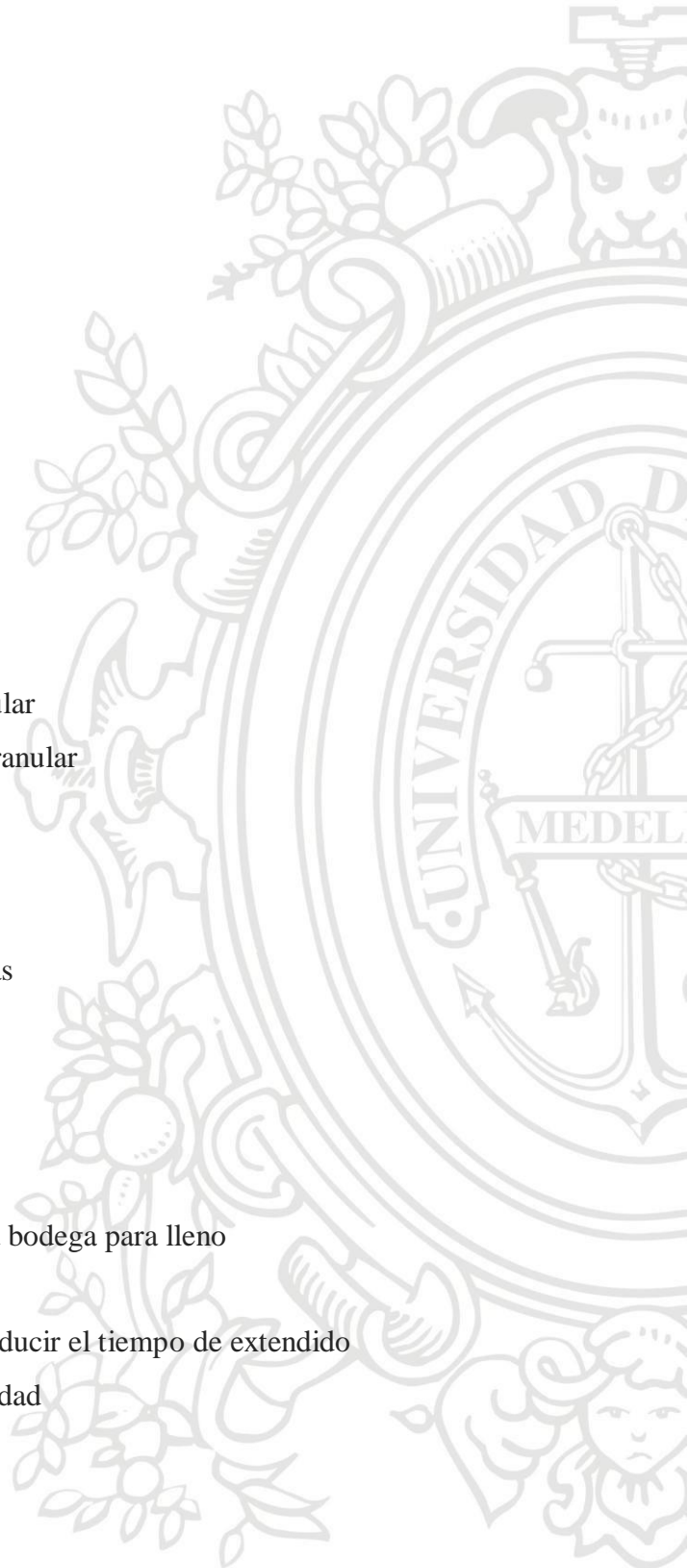
Tabla 17. Reducción del tiempo para lleno con nueva metodología.

Tabla 18. Avance del lleno trabajando bodegas de manera simultánea.



INDICE DE IMÁGENES

- Imagen 1. Bulldozer D6T Caterpillar
- Imagen 2. Motoniveladora Caterpillar 120K
- Imagen 3. Vibrocompactador SD160
- Imagen 4. Vibrocompactador SD70
- Imagen 5. Minicargador S205
- Imagen 6. Cargador 980M
- Imagen 7. Dumper
- Imagen 8. Volqueta 16m³
- Imagen 9. Excavadora 315
- Imagen 10. Canguro
- Imagen 11. Material con fallo
- Imagen 12. Excavación de fallo
- Imagen 13. Ensayo proctor modificado para base granular
- Imagen 14. Ensayo proctor modificado para subbase granular
- Imagen 15. Ensayo CBR para base granular
- Imagen 16. Ensayo CBR para subbase granular
- Imagen 17. Transporte de material con volqueta
- Imagen 18. Transporte de material con vías deterioradas
- Imagen 19. Extendido de material para subrasante
- Imagen 20. Humectación del suelo
- Imagen 21. Secado del material
- Imagen 22. Compactación del suelo
- Imagen 23. Recorrido desde acopio de subbase hasta la bodega para lleno
- Imagen 24. Transporte de material en menor tiempo
- Imagen 25. Distribución estratégica de material para reducir el tiempo de extendido
- Imagen 26. Escarificado de material para reducir humedad



1 INTRODUCCION

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de ingeniería civil, y constituye el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes entre otros, además se utiliza como el material de terraplenes viales, muros de tierra reforzada con geotextil, diques, rellenos etc. De ahí la necesidad de ver los suelos desde las diferentes ópticas y necesidades dentro de las prácticas de ingeniería civil.

Varios han sido los estudiosos de los suelos y los efectos que tiene la densificación en ellos, así como varias son las teorías existentes que tratan de explicar lo que sucede en la compactación de suelos, en el cual la distribución de las partículas del suelo se modifica y mejora su capacidad portante.

Los suelos están constituidos por partículas de tamaños variables. Entre estas partículas quedan espacios ocupados por aire y agua. Si mediante una acción mecánica modificamos la estructura de las partículas, podemos variar el volumen de una masa conocida. Es decir, el volumen de una porción de material no es fijo, sino que depende de las acciones mecánicas a que lo sometamos.

Las cargas que se transmiten al suelo causan esfuerzos y por tanto deformaciones. Estas deformaciones están directamente relacionadas con las propiedades del material. La conducta del terreno bajo esfuerzos está afectada por su densidad y por las proporciones relativas de agua y aire que llenan los espacios entre partículas; estas afectan directamente su resistencia al esfuerzo cortante. Además estas propiedades varían con el tiempo, por tanto, para lograr una edificación segura y económica es necesario realizar el tratamiento más adecuado.

En este trabajo se estudia y analiza cada uno de los pasos de la compactación de los suelos como son el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión, compactación de material granular de base o subbase sobre una superficie preparada, en una o varias capas, la cual forma parte de la estructura de un pavimento rígido.

El Centro Logístico Industrial del Norte (CLIN) es un proyecto privado, el cual está siendo desarrollado por la constructora Gomeco S.A.S. Se encuentra ubicado cerca del municipio de Girardota (la vereda la Matica parte baja). Tiene contemplado la construcción de un parque industrial y logístico que se compone de 78 bodegas de las cuales 56 bodegas tienen fines logísticos y 22 con fines industriales.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar los conocimientos adquiridos en la formación académica y desarrollar competencias en campo como auxiliar de ingeniería mediante la práctica empresarial, para poder identificar los principales inconvenientes que se presentan en las diferentes actividades que se ejecutan con suelos en obra y poder optimizar las actividades mediante una adecuada planeación como auxiliar de ingeniería.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar como auxiliar los principales retrasos en la ejecución de llenos estructurales.
- Identificar como auxiliar los factores que caracterizan a cada fallo y/o problema que pueda estar presente en la compactación de suelos.
- Hacer seguimiento como auxiliar al proceso de compactación de suelos y verificar que se realizan de forma asertiva.
- Establecer lineamientos como auxiliar sobre la detección de pérdidas de materiales estructurales como base y subbase.

3 MARCO TEORICO

Para cumplir las labores como auxiliar de apoyo en el lleno de bodegas durante la práctica académica fue necesario conocer el diseño y las especificaciones del proyecto, así como, los materiales con los que se está trabajando, proceso constructivo y maquinaria utilizada.

3.1 MATERIALES

Para la construcción de afirmados, bases y subbases granulares, los materiales serán agregados naturales clasificados o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Para la construcción de bases granulares, será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales a emplear en la construcción de capas granulares, se resumen en la Tabla 1. Las exigencias granulométricas se presentan en la especificación respectiva.

Los requisitos que deben cumplir los materiales para la construcción de bases estabilizadas, se indican en los Artículos referentes a ellas. (Invias. Art 300-07).

3.1.1 Agregados utilizados

Subbase granular

Los agregados para la construcción de la subbase granular deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 1. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 2. (Invias. Art 320-07)

Tabla 1. Requisitos de los agregados para sub-bases granulares

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Fuente: Invias 2007, Art 320 tabla 2.

Tabla 2. Franjas granulométricas del material de sub-base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: Invias 2007, Art 320 tabla 3.

Base granular

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en la Tabla 3. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 4; salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa. (Invias. Art 330-07)

Tabla 3. Requisitos de los agregados para bases granulares

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	40 8	40 8	35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	- -	70 75	90 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras	E-227	50 -	70 50	100 70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 80	≥ 80	≥ 95

Fuente: Invias 2007, Art 320 tabla 2.

Tabla 4. Franjas granulométricas del material de base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
BASES GRANULARES DE GRACACIÓN GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7%			6%			3%

Fuente: Invias 2007, Art 320 tabla 3.

3.2 PROCESO DE NIVELACION

Se da el nombre de nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la elevación de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada o imaginaria la cual es conocida como superficie o plano de comparación. El objeto primordial de la nivelación es referir una serie de puntos a un mismo plano de comparación para poder deducir los desniveles en los puntos observados. Se dice que dos o más puntos están a nivel cuando se encuentran a la misma cota o elevación respecto al mismo plano de referencia, en caso contrario se dice que existe un desnivel entre ellos.

Los instrumentos básicos utilizados para lograr estos fines son el nivel y la estadia. También puede ser usado el teodolito pues también realiza las funciones de nivel. Los niveles son instrumentos de fácil manejo y de operación rápida y precisa como el nivel automático o auto nivelante. (Navarro Sergio, 2010, pág. 5)

Errores en nivelación

Los errores personales que se cometen a menudo y debe tenerse cuidado son los siguientes:

- El eje vertical del aparato debe ser verdaderamente vertical así como el hilo horizontal del retículo que debe ser verdaderamente horizontal.
- La línea de vista debe ser horizontal cuando el aparato este nivelado.
- Burbuja debe estar nivelada.
- Hacer las lecturas equivocadas y anotar valores incorrectos.

3.3 PROCESO DE COMPACTACION

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos (aire), empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

3.3.1 Preparación de la superficie existente

El interventor solo autorizara la colocación de material estructural cuando la superficie sobre la cual se debe asentar tenga la compactación apropiada y las cotas y secciones indicadas en los planos o definidas por él, con las tolerancias establecidas.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en la especificación de la capa de la cual forma parte, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el constructor hará las correcciones necesarias, a satisfacción del interventor. (Invias, Art 320-07)

3.3.2 Extensión y conformación del material

El material se deberá disponer en un cordón de sección uniforme donde el interventor verificara su homogeneidad. Si la capa de base y subbase granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, estos se deberán mezclar en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área del proyecto no está permitida. En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad óptima de compactación, el constructor empleara el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con una humedad uniforme. Éste, después de humedecido o aireado, se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y el grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100mm) ni superior a doscientos milímetros (200mm). Si el espesor de base o subbase compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100mm). El material extendido deberá mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El Interventor no permitirá la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente. (Invias, Art 320-07)

3.3.3 Compactación

Una vez que el material extendido tenga la humedad apropiada, se conformara ajustándose razonablemente a los alineamientos y secciones típicas del proyecto y se compactara con el equipo aprobado por el interventor, hasta alcanzar la densidad seca especificada.

Aquellas zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan la utilización del equipo que normalmente se utiliza, se compactara por los medios

adecuados para el caso, en tal forma que la densidad seca que se alcance no sea inferior a la obtenida en el resto de la capa.

La compactación se efectuara longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de la mitad del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior. (Invias, Art 320-07)

3.3.4 Limitaciones en la ejecución

No se permitirá la extensión de ninguna capa de material de base o subbase granular mientras no haya sido realizada la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se podrá ejecutar la base o subbase granular en momentos en que haya lluvia o fundado temor que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2° C).

Los trabajos de construcción de la base y subbase granular se deberá realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Invias o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el Constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se permitirá el trabajo nocturno y deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar. (Invias, Art 320-07)

3.3.5 Conservación

El constructor deberá conservar la capa de base y sub-base granular en las condiciones en las cuales le fue aceptada por el Interventor hasta el momento de ser recubierta por la capa inmediatamente superior, aun cuando aquella sea librada parcial o totalmente al tránsito público. Durante dicho lapso, el constructor deberá reparar, sin costo adicional para el Instituto Nacional

de Vías, todos los daños que se produzcan en la base y sub-base granular y restablecer el mismo estado en el cual ella se aceptó. (Invias, Art 320-07)

3.4 CONTROL DE CALIDAD

Durante la ejecución de los trabajos, se adelantaran los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo de construcción.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad exigidos en la respectiva especificación.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados de acuerdo con los programas de trabajo.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de la fase de experimentación, en el caso de bases y sub-bases granulares o estabilizadas.
- Ejecutar ensayos de compactación en el laboratorio.
- Verificar la densidad seca de las capas compactadas efectuando la corrección previa por partículas de agregado grueso, siempre que ella sea necesaria. Este control se realizara en el espesor de capa realmente construido de acuerdo con el proceso constructivo.
- Tomar medidas para determinar espesores y levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.
- Velar por el cumplimiento de todas las disposiciones relacionadas con el manejo ambiental.

El Interventor medirá, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.

(Invias, Art 320-07 y Art 330-07)

3.4.1 Calidad de los agregados

Control de procedencia

De cada fuente de agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 300.1 del Artículo 300, “Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas”. Los resultados de dichos ensayos deberán satisfacer, en su totalidad, las exigencias indicadas en el numeral 300.2 del Artículo 300, so pena del rechazo de los materiales deficientes. (Invias, Art 320-07 y Art 330-07)

Control de producción

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Así mismo, ordenará que se acopien por aparte aquellos que presenten una anomalía evidente de aspecto, como distinta coloración, plasticidad o segregación.

Además, realizará las verificaciones periódicas de la calidad de los agregados, establecidas en la Tabla 5.

Tabla 5. Verificaciones periódicas de la calidad del material

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-123	Una(1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una(1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	Una(1) vez por jornada
Equivalente de arena	E-133	Una(1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una(1) vez por semana

Fuente: Invias 2007, Art 320 tabla 320-4

En el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se realizarán sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba sea insatisfactorio, se tomarán dos (2) muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos deberán ser satisfactorios o, de lo contrario, el Interventor no autorizará la utilización del material al cual representen dichos ensayos. (Invias, Art 320-07 y Art 330-07)

3.4.2 Calidad del producto terminado

Terminado

La capa de base o sub-base granular terminada deberá presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones. Si el Interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, delimitará el área afectada y el Constructor deberá escarificarla en un espesor de cien milímetros (100 mm) y, después de efectuar las correcciones necesarias, mezclará y compactará de nuevo hasta que tanto el área delimitada como las adyacentes cumplan todos los requisitos exigidos.

La capa de subbase granular terminada deberá ajustarse a las rasantes y a las pendientes establecidas en los documentos del proyecto, sin que existan zonas donde se retenga el agua superficial. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos o la definida por el Interventor. Las variaciones de las cotas, respecto de las establecidas en el proyecto, no podrán exceder de +0.0 mm y -20.0 mm.

Si se detectan zonas con un nivel inferior a la tolerancia indicada, ellas se deberán escarificar en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), para enseguida agregar material de subbase, humedecer, mezclar, recompartar y terminar la superficie hasta lograr la densidad seca y las cotas exigidas por la presente especificación. Alternativamente, el Interventor las podrá aceptar, siempre que el Constructor se comprometa, por escrito, a compensar la merma con el espesor

adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para el Instituto Nacional de Vías.

Las áreas que presenten un nivel superior a la tolerancia especificada deberán ser rebajadas, humedecidas, compactadas y terminadas nuevamente, hasta cumplir con las cotas y el espesor establecido en los documentos del proyecto y con las exigencias de la presente especificación. (Invias, Art 320-07 y Art 330-07)

Compactación

Para efectos de la verificación de la compactación de la capa de base o subbase granular, se define como “lote”, que se aceptará o rechazará en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa compactada en el ancho total de la subbase.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de subbase granular compactada.
- El volumen construido en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca en el terreno de cada capa se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730 “Selección al azar de sitios para la toma de muestras”, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deberán efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

La densidad seca de la capa compactada podrá ser determinada por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164, que permita hacer la corrección por presencia de partículas gruesas.

Las verificaciones de compactación se deberán efectuar en todo el espesor de la capa que se está controlando. Los lotes que no alcancen las condiciones mínimas de compactación exigidas en este numeral, deberán ser escarificados, homogenizados, llevados a la humedad adecuada y compactados nuevamente hasta obtener el valor de densidad seca especificado. (Invias, Art 320-07 y Art 330-07)

3.5 MAQUINARIA

El equipo que se utilice para la construcción de base y sub-bases, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. (Mendoza, María. Bases y Sub-bases 2008)

Si en la ejecución del trabajo el equipo presenta deficiencias o no produce resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el contratista corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya el operador. (Mendoza, María. Bases y Sub-bases 2008)

MAQUINARIA UTILIZADA EN OBRA PARA LA COMPACTACION DE SUELOS

1. Bulldozer

El bulldozer es un tipo de topadora que se utiliza principalmente para el movimiento de tierras, de excavación. Aunque la cuchilla permite un movimiento vertical de elevación, con esta máquina no es posible cargar materiales sobre camiones o tolvas ni conducción en línea recta, por lo que el movimiento de tierras lo realiza por arrastre.

Imagen 1. Bulldozer D6T Caterpillar



Fuente: Elaboración propia.

2. Motoniveladora

Una motoniveladora es una máquina de construcción que cuenta con una larga hoja metálica empleada para nivelar terrenos. Además posee escarificadores para terrenos duros, los cuales puede ubicar al frente, en medio del eje delantero y la cuchilla o en la parte trasera, llamándose en este caso ripper.

Imagen 2. Motoniveladora Caterpillar 120k



Fuente: Elaboración propia.

3. Vibrocompactador

Equipo para compactar suelos, aplicando una cantidad de energía por medio de un rodillo liso que proporciona vibración y facilita la acomodación de las partículas de suelo.

Imagen 3. Vibrocompactador SD 160



Imagen 4. Vibrocompactador SD 70



Fuente: Elaboración propia

4. Minicargador

El minicargador es una variante del cargador tradicional, diseñado para la construcción de caminos, movimiento de tierra, construcción de obras civiles, entre otros. La mayoría vienen montados sobre neumáticos para el fácil desplazamiento y la flexibilidad que estos permiten a la hora de operar en cualquier terreno. Principalmente cuenta con un cucharón conectado a dos brazos hidráulicos, aún que el ensamblaje de este permite reemplazar el balde por algún otro dispositivo o herramienta como las uñas.

Imagen 5. Minicargador S205



Fuente: Elaboracion propia.

5. Cargador

Máquina que por medio de su balde frontal está diseñado para cargar diferentes materiales.

Imagen 6. Cargador 980M



Fuente: Elaboración propia.

6. Dumper

Máquina que sirve para transportar material, su 4x4 proporciona una ventaja frente a terrenos pantanosos.

Imagen 7. Dumper



Fuente: Elaboracion Propia.

7. Volqueta

Las volquetas son máquinas que transportan material en un cajón que posee un dispositivo mecánico para descargar el material.

Imagen 8. Volqueta de 16m³.



Fuente: Elaboracion propia.

8. Excavadora

Son máquinas compuestas de un bastidor montado sobre orugas o neumáticos y una superestructura giratoria dotada de un brazo con cuchara, accionado por un mando hidráulico o por cables, especialmente diseñadas y construidas para ejecutar excavaciones por debajo de su nivel de sustentación o sea de su nivel de apoyo.

Imagen 9. Excavadora 315 Caterpillar



Fuente: Elaboracion propia.

9. Canguro

El compactador tipo canguro es una poderosa herramienta de impacto vibratorio alimentada por un motor de combustión. Puede aplicar una tremenda fuerza a la superficie del suelo en impactos consecutivos, nivelando y apisonando uniformemente los espacios vacíos entre las partículas del suelo para elevar su densidad seca, esto es, el peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen.

Imagen 10. Canguro

Fuente: Elaboración propia

4 METODOLOGIA

Al inicio de la práctica en el proyecto CLIN, se indicó la programación de lleno para cada bodega y el tiempo estimado para entregarla es de 30 días calendario. El proyecto cuenta con 78 bodegas de las cuales 2 se encontraban en un 100 % del lleno, y 2 bodegas adelantadas en un 50% del lleno. La programación en el lleno de bodegas tenía algunos retrasos, debido a que las cubiertas de techo no estaban terminadas y esta actividad es previa al lleno de bodega según la programación, esto afecta los rendimientos por trabajar en forma simultánea. Además, la temporada de lluvias aumentaron el porcentaje de humedad de los suelos en obra, y esto afectó los tiempos para completar la compactación de los suelos, ya que era necesario reemplazarlos.

Se requiere recopilar los datos más significativos de cada actividad en libretas de campo y en tablas de Excel, con el fin de poder visualizar la actividad de forma general y realizar seguimiento a cada parte del proceso y así poder identificar las mayores dificultades que generan retrasos en obra.

A continuación se muestra de manera más detallada la información de las actividades que comprende el lleno y compactación de suelos en las bodegas y se mencionan algunas de las dificultades que se presentaron.

4.1 PROCESO DE COMPACTACION

4.1.1 Preparación de la superficie existente

Inicialmente se inspecciono la zona donde se realizaría el lleno, esto para comprobar el estado geotécnico de la subrasante y detectar si existían problemas que afecten la resistencia del suelo. Fue necesario retirar todos los materiales que contaminan como plásticos, madera, vegetación etc. En época de lluvia fue común tener que realizar reemplazo de material en los sectores que tienen un alto porcentaje de humedad para evitar fallos en la estructura de suelo.

Imagen 11. Material con Fallo.



Imagen 12. Excavación de Fallo.



Fuente: Elaboración propia.

Este cambio de material se realizó por capas que no superan los 20cm de espesor y se realizó una adecuada compactación.

4.1.2 Transporte de materiales

El material granular de base y subbase provenía de la cantera MinCivil en Girardota y esta era encargada de realizar los ensayos correspondientes del material granular y garantizar que cumple con las especificaciones exigidas por las norma Invias E 142 y E 148.

Para ilustrar de una manera más clara los valores que fueron obtenidos en el laboratorio, se muestra un informe de material granular de base y subbase suministrado por la cantera MinCivil para el proyecto CLIN.

Imagen 13. Ensayo proctor modificado Imagen 14. Ensayo proctor modificado



Fuente: Resultados laboratorio MinCivil.

Imagen 15. Ensayo de CBR (base)

CONSTRULAB S.A.S.
Asesorías y Servicios en Ensayos de Laboratorio para Materiales de la Construcción
NIT. 811.001.337-3

ENSAYO DE CBR

Obra CENTRO LOGISTICO INDUSTRIAL DEL NORTE-CLIN Fecha 06/08/18

Muestra N° M - 1 Descripción : Base Granular de Mincivil

RESULTADOS

Ensayo	PROCTOR MODIFICADO						CBR		
	1	2	3	4	5	6	10	25	56
N° de Golpes									
Molde N°	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Humedad (%)	6,02	8,06	9,55	10,82			8,2	7,93	7,3
Densidad seca (g/cm ³)	2,117	2,154	2,114	2,052			2,05	2,079	2,156
CBR (%)							34	64	109
Expansión (%)							0	0	0

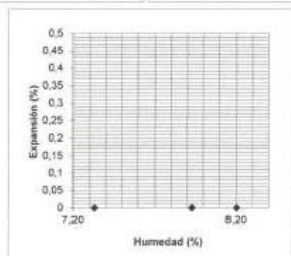
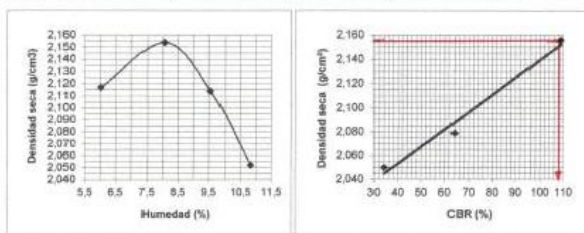


Imagen 16. Ensayo de CBR (subbase)

CONSTRULAB S.A.S.
Asesorías y Servicios en Ensayos de Laboratorio para Materiales de la Construcción
NIT. 811.001.337-3

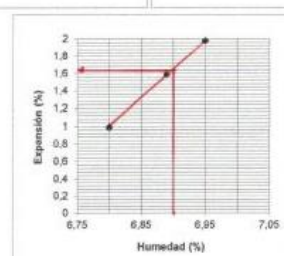
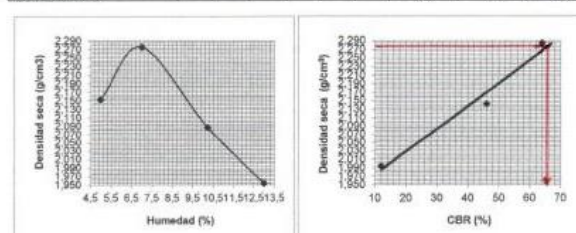
ENSAYO DE CBR

Obra CENTRO LOGISTICO INDUSTRIAL DEL NORTE-CLIN Fecha 06/08/18

Muestra N° M - 2 Descripción : Subbase Granular de Mincivil

RESULTADOS

Ensayo	PROCTOR MODIFICADO						CBR		
	1	2	3	4	5	6	10	25	56
N° de Golpes									
Molde N°	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Humedad (%)	4,98	7	10,23	12,98			6,95	6,09	6,8
Densidad seca (g/cm ³)	2,153	2,276	2,087	1,954			1,995	2,143	2,285
CBR (%)							12	46	64
Expansión (%)							1,98	1,59	0,99



Fuente: Resultados laboratorio MinCivil.

Los materiales de base y subbase se acopiaron en bodegas de manera que no sufriera daños o transformaciones perjudiciales. Cada clase de agregado se acopio por separado, para evitar cambios en su granulometría original.

El material de limo y arenilla para subrasante provenía de explanaciones cercanas. Al proyecto diariamente llegaba material que era clasificado desde portería para enviar a los diferentes frentes de trabajo en los cuales se requería hacer algún tipo de lleno. Se evitaban para el lleno de bodegas materiales contaminados y/o con porcentajes de humedad altos, ya que estos materiales producen fallos en la estructura de suelo o requieren de un tratamiento previo antes de su

compactación. En ocasiones cuando el material para subrasante llegaba con un alto grado de humedad debido al invierno fue necesario acopiarlo en bodegas para realizar una adecuada recuperación, ya sea mezclándolos con suelos más secos o con el cargador mezclándolo varias veces en el día hasta que su humedad reduzca cercana a la humedad óptima.

Imagen 17. Transporte de material con Volqueta.



Fuente: Elaboración propia.

Para el transporte de material fue fundamental que las maquinas llegaran sin contratiempos al lugar donde se realizaron los trabajos. Las vías del proyecto en su gran mayoría eran de limo y el invierno aumento el exceso de humedad en los suelos y las vías se deterioraron de manera acelerada, además, la constante circulación de maquinaria producía huecos o baches en la vía que evitaban el drenaje de las aguas superficiales y favorecía la retención de agua estancada.

En estos casos se utilizó la dumper que es un cargador con menos capacidad de carga que la volqueta, pero que se comporta mejor en este tipo de terreno por tratarse de una maquina 4x4.

Imagen 18. Transporte de material con vías deterioradas

Fuente: Elaboración propia.

Registro de datos

La siguiente tabla contiene el tiempo promedio transcurrido para transportar un determinado volumen de material con los diferentes medios de transporte utilizados. Se tomaron los datos con diferentes recorridos y condiciones de trabajo para calcular el rendimiento para cada combinación de maquinaria utilizada.

Tabla 6. Tiempo promedio para transportar material de Base.

TRANSPORTE DE MATERIAL				
CANTIDAD DE MATERIAL (m ³)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m ³ /min)	# MAQUINAS TRANSPORTANDO	DESCRIPCION
2	8,52	0,234741784	1	Dumper, Minicargador
2	8,31	0,240673887	1	Dumper, Excavadora 315
2	7,46	0,268096515	1	Dumper, Retroexcavadora
2	6,48	0,308641975	1	Dumper, Cargador
16	12,43	1,287208367	1	Volqueta, Excavadora 315
16	14,59	1,096641535	1	Volqueta, Retroexcavadora
16	10,56	1,515151515	1	Volqueta, Cargador

Fuente: Elaboracion propia.

4.1.3 Extendido de material

Para extender el material de forma correcta fue indispensable contar con la comisión topográfica o en su defecto tener un nivel laser o de precisión para verificar los niveles a medida que la maquina extiende el material y lo lleva al espesor indicado en las especificaciones. La tolerancia en la desviación del espesor de la capa fue de +0.0 a -20.0mm.

Subrasante

Para extender el material por capas, la mayoría de las veces se realizó con bulldozer, pero en ocasiones se encontraba realizando otra actividad o en el taller por alguna falla, entonces era necesario realizar el extendido con el cargador o mini cargador. El espesor de cada capa varía de 10 a 12 cm después de ser compactada según el tipo de material y la capa ejecutada.

En ocasiones fue necesario extraer las rocas de gran tamaño y/o partículas que no hacen parte de la estructura del suelo y que pueden traer problemas más adelante; por ejemplo madera, plásticos, vegetación etc.

Algunas veces fue necesario extender el material y dejarlo en estado suelto durante varias horas porque este tenía un porcentaje alto de humedad. Cuando el suelo durante el día no se recupera, es decir, continua un grado alto de humedad fue necesario compactarlo al final de la jornada y al día siguiente escarificarlo y dejarlo en estado suelto, este proceso puede ser repetitivo hasta que el suelo alcance su resistencia y esté en condiciones para recibir la siguiente capa de material.

Imagen 19. Extendido de material para subrasante.



Fuente: Elaboración propia.

Base y Subbase

Las capas base y subbase fueron extendidas con motoniveladora la mayor parte del tiempo, pero cuando esta presentaba alguna falla mecánica era necesario continuar la actividad con cargador o mini cargador. El espesor de la capa compactada era de 10 a 12 cm según el tipo de material, algo fácil de lograr con la motoniveladora por tratarse de una maquina diseñada para realizar este tipo de trabajos. En caso contrario el cargador o mini cargador que se le dificulto distribuir la capa de manera homogénea, es decir, que tenga el mismo espesor en toda el área intervenida.

Imagen 20. Extendido de Material de Base granular.



Fuente: Elaboración propia.

El materia de base y subbase tenía una ventaja con respecto al porcentaje de humedad que llegaba a obra, como este proviene de cantera trae una humedad cercana a la humedad optima ya que este se compra por su peso y cuando contiene mucha agua no es conveniente para el proyecto comprarlo porque sale más costoso. Cuando el material tiene exceso de humedad es necesario dejarlo en estado suelto hasta que la humedad se aproxime a la humedad óptima y poder compactarlo a la densidad exigida en las especificaciones.

En la siguiente tabla se tomaron los datos correspondiente del tiempo transcurrido para cada una de las maquinas utilizadas en la extensión del material para lleno.

Tabla 7. Tiempo para extender material con diferentes equipos.

EXTENSION Y CONFORMACION				
CANTIDAD DE MATERIAL (m³)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m³/min)	TIPO DE SUELO	DESCRIPCION
200	143,28	1,39586823	Base o Subbase	Motoniveladora
200	117,43	1,703142298	Limo o Arenilla	Wulldozer
200	671,23	0,297960461	Limo o Arenilla	Minicargador
200	273,48	0,731314904	Limo o Arenilla	Cargador

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Humectación o secado del material

Después de tener la capa de material extendida se procedió con la humectación o secado del material cuando el suelo utilizado para realizar el lleno en bodegas se encontró seco o tenía un alto porcentaje de humedad. En obra fue normal encontrar suelos con grados de humedad variables, de allí radica la importancia de conocer bien las propiedades del material, para saber cuál tratamiento es más conveniente.

Humectación del material

Cuando la humedad del suelo está por debajo de la humedad óptima es necesario humectarlo para facilitar el proceso de compactación. En obra se cuenta con tanques de 1000 litros y se adapta una flauta en la parte inferior para brindar la humectación de la manera más homogénea posible; esta tarea se ejecutó con un mini cargador y fue necesario que el suelo estuviera en estado suelto para que el agua penetre en toda la capa de material.

Imagen 20. Humectación del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

El número de pasadas del minicargador regando agua depende de la humedad que requiere el suelo, es decir, entre más bajo sea el porcentaje de humedad es necesario suministrar una mayor cantidad de agua. En ocasiones fue necesario realizar este procedimiento varias veces para poder lograr que el suelo alcanzara una humedad cercana a la humedad óptima.

Secado del material

Cuando la humedad del suelo se encontró por encima de la humedad óptima, fue necesario extender el material y dejarlo en estado suelto, es decir, sin compactar hasta lograr una humedad lo más cerca posible de la humedad óptima y así poder lograr la densidad exigida en las especificaciones. Cuando el material durante el día de trabajo no logro reducir la humedad cerca a la humedad optima, se compacto para reducir la permeabilidad durante la noche y al día siguiente fue necesario escarificarlo y dejarlo en estado suelto hasta lograr reducir la humedad cerca de la óptima. Cuando las probabilidades de lluvia fueron altas lo más conveniente fue compactar el material para reducir la permeabilidad y evitar que las aguas puedan deteriorar más los suelos.

Imagen 21. Escarificado para reducir humedad.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se registró el promedio del tiempo que demoraba la maquinaria en completar el proceso de secado o humedecimiento de los suelos según el caso, esto para poder lograr llevar el material a un estado de humedad cercano al óptimo y poder lograr los resultados exigidos.

Tabla 8. Tiempo promedio para humectar o secar el suelo.

HUMEDECIMIENTO O SECADO					
CANTIDAD (m²)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m²/min)	# DE PASADAS	PROCESO	DESCRIPCION
2000	29,45	67,91171477	1	Humedecimiento	Minicargador
2000	290,34	27,55390232	4	Secado	Cargador
2000	83,29	72,03745948	3	Secado	Motoniveladora

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Compactación del material

Después de completar el extendido del material en una capa homogénea y garantizar que la humedad del suelo está cerca de la humedad óptima. Se procedió a compactar el material con un vibro compactador, el número de pasadas dependió de la energía del vibrocompactador utilizado,

en este caso el número fue desde 8 a 10 repeticiones. La dirección de vibrado se cambió en cada ciclo, es decir, perpendicular a la anterior para lograr un grado de compactación uniforme y que el espesor de la capa se mantenga.

Imagen 22. Compactación del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos por cada uno de los vibrocompactadores utilizados según el tipo de suelo en que se realizó los trabajos.

Tabla 9. Tiempo promedio para compactar el suelo.

COMPACTACION Y TERMINACION					
CANTIDAD (m²)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m²/min)	TIPO DE SUELO	# DE PASADAS	DESCRIPCION
2000	253,42	63,13629548	Limo	8	vibrocompactador mediano
2000	269,35	59,40226471	Arenilla	8	vibrocompactador mediano
2000	267,52	59,80861244	Base o Subbase	8	vibrocompactador mediano
2000	253,42	47,35222161	Limo	6	vibrocompactador grande
2000	269,35	44,55169853	Arenilla	6	vibrocompactador grande
2000	267,52	44,85645933	Base o Subbase	6	vibrocompactador grande

Fuente: Elaboración propia.

4.2 CONTROL DE COMPACTACION

Terminado

Al terminar la compactación de cada capa fue necesario realizar la inspección donde se verifico que presentara una superficie uniforme y la no existencia de agrietamientos o baches. También se revisó las cotas establecidas en el proyecto. La cual se localizó dentro de los niveles y tolerancias permitidas por la norma (INV. Art 320-07) que permite +0.0mm a -20.0mm.

Compactación

Después de completar el número de pasadas con el vibrocompactador fue necesario verificar la compactación de cada capa de base o sub-base granular, comprobando el grado de compactación alcanzado en campo (NTC 1667). Donde se determinó la densidad de cada capa y se comparó con la densidad alcanzada en laboratorio con el ensayo modificado de compactación (INV Art 320-07).

Como los valores del grado de compactación obtenido en campo superaban el 95% de la compactación obtenida con el proctor modificado, y cumplía los niveles previstos, se aprobó continuar con la siguiente capa.

Tabla 10. Resultado del ensayo (NTC 1667) para base granular

Tabla de Resultado CENTRO LOGISTICO E INDUSTRIAL DEL NORTE "CLIN" Código: 2395 CL-63824-08-2018										
# pto.	# Mat.	Proctor	Humedad ópt	Proct. dens. seca max Kg/m3	Dens seca	% compact.	% humedad	Localización	Proced.	Fecha ensayo
1	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2138.19	99.3	4.5	Bodega 131 L-38	Mincivil	2018-07-27
2	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2134.68	99.1	4.9	Bodega 131 M-42	Mincivil	2018-07-27
3	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2166.01	100.6	8.0	Bodega 131 O-39	Mincivil	2018-07-27
4	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2154.34	100.0	9.0	Bodega 131 Q-41	Mincivil	2018-07-27
5	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2087.18	96.9	8.0	Bodega 131 R-39	Mincivil	2018-07-27
6	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2290.10	106.3	5.2	Bodega 113 D-44	Mincivil	2018-07-27
7	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2211.34	102.7	6.8	Bodega 113 F-47	Mincivil	2018-07-27
8	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2135.81	99.2	7.5	Bodega 113 G-45	Mincivil	2018-07-27
9	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2131.35	98.9	7.6	Bodega 113 I-48	Mincivil	2018-07-27
10	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2180.20	101.2	6.7	Bodega 113 J-45	Mincivil	2018-07-27
11	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2216.78	102.9	5.6	Bodega 112 D-38	Mincivil	2018-07-27
12	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2356.08	109.4	6.8	Bodega 112 F-41	Mincivil	2018-07-27
13	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2201.32	102.2	7.1	Bodega 112 G-39	Mincivil	2018-07-27
14	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2155.07	100.0	6.6	Bodega 112 I-42	Mincivil	2018-07-27
15	Base granular	Modificado	7.7	2154.00	2202.07	102.2	7.7	Bodega 112 J-38	Mincivil	2018-07-27

Fuente: Resultado Ensayo NTC 1667.

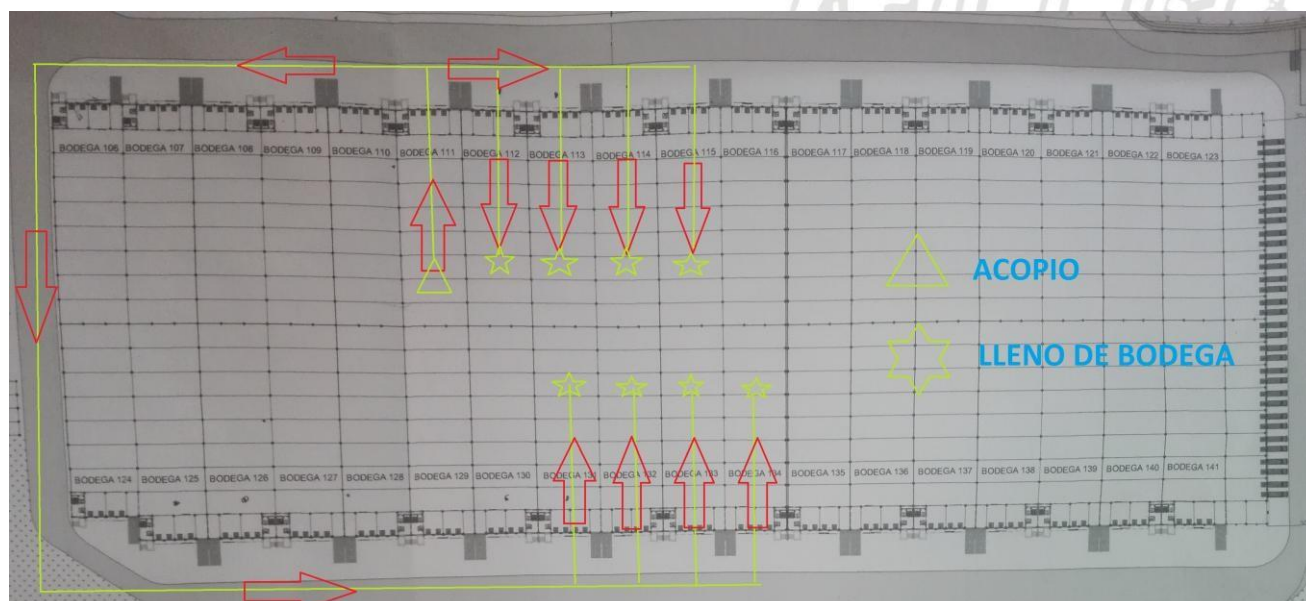
5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el material consignado en bitácoras de obra y observando cada parte del proceso se logró evidenciar donde radicaban las mayores dificultades con los tiempos y sobrecostos de cada actividad. Con esto se buscó plantear soluciones básicas que eviten los reprocesos y se determinó considerar lo siguiente:

5.1 TRANSPORTE DE MATERIAL

Se identificó que el tiempo transcurrido en transportar el volumen de material requerido para cada capa era muy elevado, entonces fue necesario observar detalladamente cada una de las variables implícitas.

Imagen 23. Trayecto desde Acopio de Subbase hasta bodega para lleno.



Fuente: Planos proyecto CLIN bloque 2 y 3.

En la imagen anterior se observa el recorrido que debía hacer la maquinaria que transportaba el material desde el acopio hasta el lugar donde se realizaban los trabajos, la distancia era de aproximadamente 500m cuando se trabajaba en las bodegas del otro costado del acopio. Además la maquinaria con la que se transportaba tenía poca capacidad en el caso de la dumper $2m^3$ y las

volquetas de 16m^3 pero en ocasiones había restricción para transitar normalmente por el mal estado de las vías debido al invierno. El volumen de material por capa es de 240m^3 y para completarlo se requiere 120 viajes de dumper o 15 viajes de volqueta.

Se logró disminuir el tiempo de transporte del material, ubicando el acopio lo más cerca posible a la bodega donde será utilizado. Para esto fue necesario contar con el orden de prioridades para llenar de bodegas, esto además, requiere que la bodega de acopio esté completado en 100% el estrato o tipo de suelo que antecede. Es decir, solo se puede descargar material de base en una bodega que tenga terminada el nivel de subbase.

Imagen 24. Transporte de material en menor tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

En ocasiones cuando las vías no permitían el acceso de la maquinaria a la bodega que se realizaría el llenado, fue fundamental cargar el material por debajo del muro que divide las bodegas de un lado u otro de la vía, con esto se logró reducir el tiempo para transportar el material hasta en un 70% y además, benefició que el material donde se apoyaría la siguiente capa permaneciera sin contaminarse con el limo proveniente de las vías que se quedaba en las llantas del medio de transporte.

Tabla 11. Tiempo promedio con estrategia de transporte.

TRANSPORTE DE MATERIAL				
CANTIDAD DE MATERIAL (m ³)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m ³ /min)	# MAQUINAS TRANSPORTANDO	DESCRIPCION
2	6,52	0,306748466	1	Dumper, Minicargador
2	6,31	0,316957211	1	Dumper, Excavadora 315
2	6,46	0,309597523	1	Dumper, Retroexcavadora
2	5,28	0,378787879	1	Dumper, Cargador
16	12,42	1,288244767	1	Volqueta, Excavadora 315
16	13,31	1,202103681	1	Volqueta, Retroexcavadora
16	9,46	1,691331924	1	Volqueta, Cargador

Fuente: Elaboración propia.

5.2 EXTENDIDO DE MATERIAL

El tiempo que tardaba la maquina en extender una capa de material, pudo reducirse observando la manera que se descargaba cada viaje de material en la bodega para lleno. La motoniveladora debía arrastrar el material hasta el lugar donde hacía falta para completar el espesor de la capa o en ocasiones requería la ayuda del cargador para hacer una mejor distribución del material.

Para lograr una mejor distribución del material a extender, fue necesario saber la capacidad de la máquina que transporta el material desde el acopio y con esto se calculó la distancia aproximada que debe descargarse cada viaje, es decir, para una dumper que transporta 2m³ de material, se calcula el área que llena para una capa de 10cm de espesor, en este caso 20m². De esta manera la maquina encargada de extender el material tuvo un mejor rendimiento disminuyendo el tiempo de trabajo.

Imagen 25. Distribución estratégica del material para reducir el tiempo de extendido.



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se puede ver la reducción en el tiempo que requería cada máquina para conformar la capa de material al espesor indicado en las especificaciones, de esta manera fue posible trabajar de manera simultánea en diferentes bodegas ya que se tenía un mejor rendimiento.

Tabla 12. Tiempo promedio para extender el material estructural.

EXTENSION Y CONFORMACION				
CANTIDAD DE MATERIAL (m³)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m³/min)	TIPO DE SUELO	DESCRIPCION
200	115,38	1,733402669	Base o Subbase	Motoniveladora
200	105,39	1,897713256	Limo o Arenilla	Wulldozer
200	635,51	0,314707872	Limo o Arenilla	Minicargador
200	203,53	0,982656119	Limo o Arenilla	Cargador

Fuente: Elaboración propia.

5.3 HUMEDECIMIENTO O SECADO DE MATERIAL

En la ejecución de esta actividad el tiempo es muy variable debido a que depende directamente del grado de humedad del suelo que requiere tratamiento. Es decir, si el suelo se encuentra con un porcentaje de humedad bajo puede requerir una o varias pasadas del minicargador con el tanque de agua proporcionando humedad hasta llevarlo cerca de la humedad óptima. Por otro lado, si el suelo tiene un porcentaje de humedad alto es necesario esperar que disminuya hasta un valor cercano de la humedad óptima. A continuación se describe de una manera más detallada como pudo reducirse el tiempo en esta actividad.

Humectar

En este paso fue importante conocer el porcentaje de humedad en que se encontraba el suelo, para tener en cuenta que cantidad de agua era necesaria para toda el área de bodega. Es decir, cuando el suelo tiene una humedad cercana a la óptima, el minicargador con el tanque de agua puede marchar a una velocidad mayor. Todo lo contrario, cuando el suelo tiene un porcentaje bajo de humedad con respecto a la humedad óptima, lo más conveniente fue que el minicargador con el tanque circulara a una velocidad mínima para permitir que el agua proporcionada fuera suficiente para que penetrara en todo el espesor de la capa.

El tanque de 1000 litros normalmente alcanzaba para regar toda el área de bodega, es decir, 2000m^2 . Algunas veces cuando el suelo no quedaba bien hidratado era necesario llenar el tanque nuevamente para repetir el proceso y suministrar más humedad al suelo. Llenar el tanque demoraba alrededor de 30 minutos, entonces se logró conseguir un segundo tanque con las mismas especificaciones para lograr humectar el suelo en un menor tiempo y no retrasar el siguiente proceso en este caso la compactación. Hay que tener en cuenta que no es conveniente compactar el suelo inmediatamente termina el proceso de humectación ya que parte del suelo por su alto grado de humedad se adhiere al rodillo del vibrocompactador y esto proporciona finalmente una superficie irregular.

Secado

Para realizar el secado de material fue importante conocer el valor aproximado del porcentaje de humedad. En campo se dejó el material extendido y suelto hasta reducir el porcentaje de humedad. Pero este proceso es muy lento, ya que utiliza las corrientes de aire para secarlo, además la humedad de la capa no era homogénea sino que aumentaba a profundidad debido a que el aire no llega al interior de la capa de suelo.

Debido a esto se prefirió en mover el material por cordones para que el aire en circulación reduzca la humedad del suelo de manera homogénea. Es decir, cada determinado tiempo la motoniveladora transportaba el cordón de material y las partículas de suelo se combinan para lograr que el suelo tenga un porcentaje de humedad más homogéneo.

Imagen 26. Escarificado del material para reducir humedad.



Fuente: Elaboración propia.

Otro procedimiento no tan efectivo pero que sirve para reducir la humedad de suelo, fue tener el material conformado en varias pilas y con la ayuda del cargador estar moviéndolo, es decir, el material es revuelto en varias ocasiones para lograr reducir la humedad en todo el volumen de suelo y de manera homogénea.

En la tabla 13, se puede observar la reducción del tiempo que toma a cada máquina realizar el tratamiento más conveniente al suelo según el porcentaje de humedad.

Tabla 13. Tiempo promedio durante el tratamiento del suelo.

HUMEDECIMIENTO O SECADO					
CANTIDAD (m²)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m²/min)	# DE PASADAS	PROCESO	DESCRIPCION
2000	26,49	75,50018875	1	Humedecimiento	Minicargador
2000	264,18	30,28238322	4	Secado	Cargador
2000	71,47	83,95130824	3	Secado	Motoniveladora

Fuente: Elaboración propia.

5.4 COMPACTACION

En la compactación del suelo es complicado reducir el tiempo de ejecución, ya que si aumenta la velocidad del vibrocompactador disminuye el grado de compactación, entonces no es posible reducir el tiempo aumentando la velocidad del vibrocompactador. Lo único que puede realizarse en este caso, es aumentar la energía de compactación del vibrocompactador. En ocasiones cuando no estaba operativo el vibrocompactador de bodegas fue necesario solicitar a otro frente de obra el vibrocompactador en préstamo para reducir el tiempo de compactación, ya que el vibrocompactador disponible no proporcionaba la misma energía de compactación y retrasaba el rendimiento de las demás máquinas.

Tabla 14. Tiempo promedio para compactar el área de bodega.

COMPACTACION Y TERMINACION					
CANTIDAD (m²)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (m²/min)	TIPO DE SUELO	# DE PASADAS	DESCRIPCION
2000	246,25	64,97461929	Limo	8	vibrocompactador mediano
2000	257,51	62,13350938	Arenilla	8	vibrocompactador mediano
2000	259,14	61,74268735	Base o Subbase	8	vibrocompactador mediano
2000	242,38	49,5090354	Limo	6	vibrocompactador grande
2000	261,37	45,91192562	Arenilla	6	vibrocompactador grande
2000	264,41	45,38406263	Base o Subbase	6	vibrocompactador grande

Fuente: Elaboración propia.

5.5 SEGUIMIENTO PARA COMPLETAR EL LLENO POR BODEGAS

Durante el trabajo de lleno con suelos estructurales en las bodegas, se registró los datos y fechas en que comenzaba y finalizaba cada capa de material estructural y se realizó una comparación del tiempo que tardaba en realizarse todo el proceso de compactación en bodegas desde el inicio de la práctica y luego cuando se pudo optimizar algunas actividades presentes en el proceso de compactación.

Se muestra en la tabla 15, el tiempo transcurrido para terminar el lleno de la bodega 131, en la cual se trabajó durante los 3 primeros meses de práctica. Teniendo en cuenta estos valores iniciales en el proceso de lleno en bodegas, se pretende encontrar las variables que afectan el normal desarrollo de las actividades y con esto poder optimizar los procesos y cumplir con los tiempos pactados inicialmente.

Tabla 15. Tiempo para completar el lleno de bodega 131.

TIEMPO PARA COMPLETAR LA ACTIVIDAD POR BODEGA				
BODEGA # 131 (area=2000m²)				FECHA:
		FECHA INICIAL	FECHA FINAL	DURACION
N° ACTIVIDAD	EXCAVACION Y LLENO	18-jul-18	01-oct-18	75
1	fallo en nivel -0 del proyecto	18-jul-18	02-ago-18	15
2	nivel limo (2 capas de 12 cms)	04-ago-18	21-ago-18	17
3	nivel arenilla (3 capas de 10 cms)	23-ago-18	02-sep-18	10
4	nivel subbase (3 capas de 12 cms)	04-sep-18	14-sep-18	10
5	nivel base (2 capas de 12 cms)	17-sep-18	01-oct-18	14
6	excavacion y vaciado de muelles	19-sep-18	22-sep-18	3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16, se muestra el diagrama de Gantt para una de las bodegas en la cual se desarrolló el lleno estructural durante los primeros meses de práctica, en la cual se grafica los días transcurridos para completar cada una de las capas de suelo estructural.

Tabla 16. Diagrama de Gantt de la bodega 131.

BODEGA # 131 (area=2000m ²)		FECHA:																																												
		DURACION	17.04.18	18.04.18	19.04.18	20.04.18	21.04.18	22.04.18	23.04.18	24.04.18	25.04.18	26.04.18	27.04.18	28.04.18	29.04.18	30.04.18	01.05.18	02.05.18	03.05.18	04.05.18	05.05.18	06.05.18	07.05.18	08.05.18	09.05.18	10.05.18	11.05.18	12.05.18	13.05.18	14.05.18	15.05.18	16.05.18	17.05.18	18.05.18	19.05.18	20.05.18	21.05.18	22.05.18	23.05.18	24.05.18	25.05.18	26.05.18	27.05.18	28.05.18	29.05.18	30.05.18
N° ACTIVIDAD	EXCAVACION Y LLENO	75	[Barra azul continua]																																											
1	fallo en nivel -0 del proyecto	15	[Barra verde]																																											
2	nivel limo (2 capas de 12 cms)	17											[Barra verde]																																	
3	nivel arenilla (3 capas de 10 cms)	10											[Barra verde]																																	
4	nivel subbase (3 capas de 12 cms)	10																					[Barra verde]																							
5	nivel base (2 capas de 12 cms)	14																					[Barra verde]																							
6	excavacion y vaciado de muelles	3																					[Barra verde]																							

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar las variables que de alguna forma afecta el rendimiento de cada actividad, se plantean nuevas metodologías de trabajo para poder reducir los tiempos que inicialmente tardaban para completar el lleno estructural en bodegas.

En la tabla 17, se muestra la reducción del tiempo transcurrido para completar cada una de las capas que conforman la estructura de lleno. Fue posible disminuir los tiempos en el proceso de compactación después de estudiar cada actividad.

En el transporte de material se procuró tener el acopio lo más cerca posible del lugar de trabajo y con esto poder avanzar de manera simultánea en 2 bodegas del mismo lado del bloque, de manera que la maquinaria no tenga que realizar recorridos largos y pueda ocuparse en los tiempos muertos. Es decir, cuando la motoniveladora completa el extendido del material a los niveles definidos, continúa la compactación de la capa con el vibrocompactador. Durante el proceso de compactación del suelo con la maquina vibro compactadora, la maquina motoniveladora puede estar adelantando una capa de suelo en la bodega vecina y así poder avanzar con el cronograma de una manera mas eficiente.

Tabla 17. Reducción del tiempo para completar el lleno con nueva metodología.

TIEMPO PARA COMPLETAR LA ACTIVIDAD POR BODEGA		
BODEGA # 133 (area=2000m²)		FECHA:
		DURACION
N° ACTIVIDAD	EXCAVACION Y LLENO	30
1	fallo en nivel -0 del proyecto	3
2	nivel limo (2 capas de 12 cms)	4
3	nivel arenilla (3 capas de 10 cms)	5
4	nivel subbase (3 capas de 12 cms)	4
5	nivel base (2 capas de 12 cms)	6
6	excavacion y vaciado de muelles	4
BODEGA # 134 (area=2000m²)		FECHA:
		DURACION
N° ACTIVIDAD	EXCAVACION Y LLENO	27
1	fallo en nivel -0 del proyecto	3
2	nivel limo (2 capas de 12 cms)	3
3	nivel arenilla (3 capas de 10 cms)	3
4	nivel subbase (3 capas de 12 cms)	4
5	nivel base (2 capas de 12 cms)	3
6	excavacion y vaciado de muelles	2

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la tabla 18, que con esta nueva metodología de trabajo fue posible disminuir el tiempo que inicialmente se contempló en la programación de actividades de obra, trabajando de manera simultánea en las bodegas que se encuentren en el mismo costado del bloque, y de esta manera la maquinaria no tendrá tiempos muertos y se puede obtener un mayor rendimiento para el lleno de bodegas en el proyecto CLIN.

6 CONCLUSIONES

- Por medio de esta experiencia fue posible conocer el manejo o tratamiento más adecuado que debe darse a los diferentes tipos de suelos usados en obra, según su porcentaje de humedad y las propiedades intrínsecas.
- Durante la práctica empresarial fue posible desarrollar competencias en campo como auxiliar de Ingeniería y se identificaron las dificultades más frecuentes que se presentan en obra y que deben tenerse presente para evitar pérdidas de material y/o sobrecostos en el proyecto.
- Se logró reducir el tiempo de ejecución de las actividades, observando y analizando detalladamente el proceso de compactación de suelos. Planteando nuevas metodologías que tratan de aprovechar al máximo la maquinaria disponible.
- Se identificaron las causas más frecuentes que caracterizan los fallos en los suelos y se logró plantear técnicas que permitan trabajar estratégicamente para evitar reprocesos. Se debe mantener canalizada las aguas dentro de bodega o contar con una pendiente mínima que permita la evacuación del agua proveniente de la lluvia.
- Se logró comprobar que los materiales utilizados para llenos estructurales deben cumplir ciertas características y propiedades las cuales deben ser estudiadas en laboratorio y saber que manejo es el más adecuado a cada tipo de suelo.
- Durante la práctica empresarial se consiguió experimentar con suelos de diferentes porcentajes de humedad y con base en esto se logró conocer el tratamiento más conveniente que deben tener para poder lograr los resultados exigidos por las normas de compactación de suelos.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Norma Invias, capítulo 3. Afirmados, base y subbase.
- Escario José Luis. Terraplenes y pedraplenes. Madrid 1981.
- Revolorio Gonzáles José, Incidencia de resultados del ensayo proctor por la influencia del clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo. (2013)
- Mendoza Mendiola Mara de los Ángeles, Bases y Subbases. (2008)
- Marco Tulio Mata, Guía para la conformación de bases y subbases para carreteras. (2010)
- Eduardo Alonso, Suelos compactados en la teoría y en la práctica.
- Alfonso Rico Rodríguez, Consideraciones sobre la compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. (1992)
- Navarro Hudiel Sergio, Nivelación. (2010)
- Norma NTC 1667.

